



## **Determinação experimental do fator corretivo de sombreamento através do método fisheye**

Bianca Fernandes Lage

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por:  
Professora Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão



## Agradecimentos

À professora Marta Panão, orientadora da dissertação, apresento o meu total e sincero agradecimento relativamente à sua disponibilidade, apoio, paciência, dedicação e sobretudo pela confiança depositada no meu trabalho ao longo dos vários meses.

Aos meus pais, que garantiram que nada me faltasse durante estes anos, para que pudesse dedicar-me e projetar o meu futuro. O seu constante incentivo levou-me a dar o meu melhor.

Agradeço-lhes todo o amor, carinho, palavras sábias e sacrifícios para que eu chegasse a este momento.

À minha tia Celeste, pelo constante apoio, força e alegria demonstrados com os meus progressos.

Ao Sergiy, por caminhar ao meu lado ao longo desta jornada. Não existem palavras suficientes para agradecer a sua presença e apoio nos momentos mais importantes.

À Filipa, esta conquista é de ambas.

À Inês e à Susana, pelo carinho e companheirismo assim como pelas suas presenças assíduas em vários momentos.

Por último, mas não menos importante, a todos os amigos que conquistei tanto na FCUL como no MAAT. À Andreia, à Joana e à Sofia, que acompanharam as minhas frustrações durante os turnos no MAAT. Ao Chico por descomplicar o universo informático, ao Ricardo pelos conselhos sábios.

Aos que não estão mencionados, mas que me fizeram sentir a sua presença, obrigada pelos momentos inesquecíveis.

## Resumo

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento significativo do consumo de energia, sendo o setor dos edifícios aquele que verifica um aumento mais acentuado. A importância crescente da Certificação Energética de Edifícios tornou mais relevante a contabilização dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, um dos termos cruciais para estabelecer o balanço de energia e procurar soluções de otimização do recurso solar e de sistemas de sombreamento, no sentido de reduzir as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios. Na presente dissertação, avalia-se o desempenho do método *fish-eye* para a contabilização da influência do sombreamento, causado pelos obstáculos na radiação solar incidente em vãos envidraçados, tendo em vista a substituição dos outros métodos de contabilização considerados nos documentos normativos de cálculo de necessidades de energia.

O método *fish-eye* utiliza uma lente associada a um smartphone. A fim de verificar a existência de alguma diferença entre a oferta no mercado, foram utilizadas duas lentes. Sendo uma delas mais ampla que a outra, e aquando a sua comparação, observou-se que a diferença entre as mesmas, para os casos estudados, eram acima de 0,1 (valor a partir do qual se considerou significativo).

Estudou-se a aplicação do método a vãos envidraçados de maior dimensão. Para tal, compararam-se os valores do fator de sombreamento referentes a uma fotografia no ponto central com a média dos valores de quatro fotografias distribuídas pela janela. Para três dos casos de estudo, apenas houve diferenças significativas para quatro orientações.

O estudo das superfícies refletoras também se apresentou pertinente, uma vez que, até agora o método apenas considerava radiação direta e difusa. Para tal, recorreu-se ao estudo das duas superfícies refletoras distintas: a água e a calçada portuguesa de cor clara. Concluindo-se que a inclusão da reflexão no cálculo do fator de sombreamento é desprezável.

Por fim, são comparados os valores obtidos através do método em estudo com os métodos em vigor na legislação, para as diferentes orientações. Observou-se que para alguns casos, o método *fish-eye* tem a capacidade de uma melhor contabilização dos obstáculos o que explica as diferenças significativas encontradas quando comparado com os métodos apresentados na legislação.

Palavras-Chave: Fator de sombreamento, janelas, método *fish-eye*, orientação.

# Abstract

In the last few years there has been a significant increase in energy consumption, with the building sector experiencing the most significant increase. The growing importance of the Energy Certification of Buildings has made it more relevant to account for solar gains through glazed windows, one of the crucial terms to establish the energy balance and to search for solutions to optimize the solar resource and shading systems, in order to reduce the energy needs for heating and cooling of buildings. In the present dissertation, the performance of the fisheye method for accounting for the influence of shading caused by obstacles on the incident solar radiation in glazed spans is evaluated, with a view to replacing the other accounting methods considered in the normative documents for calculating energy needs.

The fisheye method uses a lens associated with a smartphone. To ascertain any difference of lenses available in the market, two different fisheye lenses were used. As one of them is wider than the other, and when comparing them, it was observed that the difference between them, for the cases studied, were above 0.1 (value from which it was considered significant).

We studied the application of the method to larger windows. To this end, the values of the shading factor referring to one photograph at the central point were compared with the average of the values of four photographs distributed by the window. For three of the case studies, there were only significant differences for four orientations.

The study of reflective surfaces was also important, given that only direct and diffuse radiation were considered. For this study, water and clear Portuguese pavement were used. The conclusion is that the inclusion of reflection in the calculation of the shading factor is negligible.

Finally, the various values obtained through this method are compared with those provided in the Portuguese legislation, for different orientations. It was observed that for some cases, the fisheye method has the capacity to better account for obstacles, which explains the significant differences found when compared to the methods presented in the legislation.

Keywords: Shading factor, windows, fisheye method, orientation.



# Índice

Agradecimentos .....	II
Resumo .....	III
Abstract .....	IV
Índice de Figuras: .....	VII
Índice de Tabelas: .....	VIII
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento geral .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Estrutura da dissertação .....	2
2. Estado de arte .....	3
2.1. Métodos de ambiente CAD .....	3
2.2. Modelos Digitais de Elevação (MDE) .....	3
2.3. Metodologias previstas na legislação portuguesa .....	5
3. Metodologia .....	6
3.1. Distância focal .....	6
3.2. Lentes <i>fisheye</i> .....	7
3.3. Janelas de grande dimensão .....	8
3.4. Levantamento angular das obstruções .....	9
3.5. Influência da radiação refletida .....	11
4. Resultados .....	12
4.1. Cálculo da distância focal .....	12
4.2. Comparação entre as lentes .....	12
4.3. Método <i>fisheye</i> vs. legislação .....	Erro! Marcador não definido.
4.4. Diferentes orientações .....	16
4.4.1. Estação de aquecimento .....	17
4.4.2. Estação de arrefecimento .....	20
4.5. Reflexão .....	24
5. Conclusões .....	27
Referências bibliográficas .....	28
6. Anexos .....	29
Anexo A- Levantamento fotográfico .....	29
Anexo B- Fatores de sombreamento calculados para os diferentes casos de estudo. ....	35

## Índice de Figuras:

Figura 3.1-Na imagem da esquerda encontramos esquematizado a câmara no centro da janela; na imagem da direita encontramos esquematizado a disposição da câmara nos vários pontos. ....	6
Figura 3.2-Representação esquemática das dimensões do objeto. ....	7
Figura 3.3-Lentes utilizadas no desenvolvimento da dissertação.....	8
Figura 3.4- Esquematização do cálculo de $F_h$ para o caso da varanda. ....	9
Figura 3.5-Esquematização do cálculo do $F_f$ para o caso da varanda. ....	10
Figura 3.6-Esquematização do cálculo de $F_o$ para o caso da varanda. ....	10
Figura 4.1- Comparação entre a lente grande angular e a lente standard. ....	13
Figura 4.2-Comparação das fotografias centrais tiradas pelas lentes: grande angular (esquerda) e standard (direita). ....	13
Figura 4.3- Representação gráfica da diferença entre os fatores de sombra de uma fotografia central e a média dos cantos, de uma janela de grande dimensão. ....	14
Figura 4.4-Fotografias tiradas com a lente fisheye, em frente à entrada do C8 na FCUL. À esquerda encontra-se a fotografia central e à direita encontra-se o conjunto dos cantos da janela a ser avaliada.	15
Figura 4.5- Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda utilizando a lente grande angular. ....	17
Figura 4.6-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda utilizando a lente standard. ....	17
Figura 4.7-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso do Algarve.....	18
Figura 4.8-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso do FCUL. ....	18
Figura 4.9-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da cozinha. ....	19
Figura 4.10-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda com a lente standard. ....	20
Figura 4.11- Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda com a lente grande angular. ....	20
Figura 4.12-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso do algarve.....	21
Figura 4.13-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da FCUL. ....	22
Figura 4.14-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da cozinha. ....	22
Figura 4.15- Diferença absoluta entre a média dos valores do levantamento angular das obstruções, regras de simplificação e do método fisheye central, para a estação de aquecimento. ....	23
Figura 4.16- Diferença absoluta entre a média dos valores do levantamento angular das obstruções, regras de simplificação e do método fisheye central, para a estação de arrefecimento.....	24
Figura 4.17- Representação das diferentes áreas de reflexão a serem consideradas para o cálculo do fator de sombreamento, num local junto ao MAAT.....	24
Figura 4.18-Representação das diferentes áreas de reflexão a serem consideradas para o cálculo do fator de sombreamento, para o caso da cozinha .....	25



Figura 6.1-Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito, com a lente grande angular. ....	29
Figura 6.2-Fotografias originais relativamente aos cantos inferiores esquerdo e direito, com a lente grande angular. ....	29
Figura 6.3-Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito, com a lente standard. ....	30
Figura 6.4-Fotografias originais relativamente aos cantos inferiores esquerdo e direito, com a lente standard. ....	30
Figura 6.5- Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito. ....	31
Figura 6.6-Fotografias originais relativamente aos superiores inferiores esquerdo e direito. ....	31
Figura 6.7-Fotografia original central. ....	32
Figura 6.8-Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito. ....	32
Figura 6.9-Fotografias originais relativamente aos cantos inferiores esquerdo e direito. ....	33
Figura 6.10-Fotografia original central. ....	33
Figura 6.11-Fotografia original utilizada para o estudo da reflexão. ....	34

## Índice de Tabelas:

Tabela 4.1-Resumo dos valores obtidos para cada parâmetro.....	12
Tabela 4.2- Resultados obtidos após a utilização das equações [1] e [2]. ....	12
Tabela 4.3-Ângulos para cada tipo de obstrução e o seu valor mais próximo, de acordo a legislação. ....	16
Tabela 4.4- Valores do fator de sombreamento referentes às regras de simplificação para a estação de aquecimento e de arrefecimento. ....	16
Tabela 4.5- Resultados após a análise de cada uma das imagens da figura 21. ....	25
Tabela 4.6-Resultados após a análise de cada uma das imagens da figura 22. ....	25
Tabela 6.1-Fatores de sombreamento obtidos a partir do método fisheye para a lente grande angular, lente standard e a diferença entre ambas, para o mês de maio. ....	35
Tabela 6.2-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para o mês de maio. ....	36
<i>Tabela 6.2-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para o mês de maio (cont.)</i> .....	37
Tabela 6.3-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento.....	38
Tabela 6.3-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento (cont.). ....	39
Tabela 6.4-Fatores de sombra calculados com o levantamento das obstruções para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento. ....	40
Tabela 6.5-Fatores de sombra calculados com as regras de simplificação para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento. ....	40
Tabela 6.6-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento. ....	41
Tabela 6.6-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento (cont.).....	42

Tabela 6.7-Fatores de sombra calculados com o levantamento das obstruções para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento. ....	43
Tabela 6.8-Fatores de sombra calculados com as regras de simplificação para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento. ....	43

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento geral

Existe atualmente uma elevada preocupação com as alterações climáticas. No sentido de minimizar as suas consequências, a Europa tem definido metas a longo prazo, tendo uma delas como data prevista o ano 2050, a fim de tentar atingir a neutralidade carbónica no setor energético, sendo as futuras construções de edifícios como NZEB (*Nearly Zero Energy Building*) uma das medidas alvo definidas pela Comissão Europeia [1]. O setor dos edifícios tem-se desenvolvido acompanhando o crescimento populacional, sendo um dos que contribui para os problemas energéticos existentes. Com o objetivo de o tornar mais sustentável, o aproveitamento do recurso solar existente poderá ser uma estratégia para a redução do consumo energético [2].

Neste contexto, as janelas são a componente que mais contribui para o aproveitamento solar passivo [3]. Caso existam obstáculos à captação de radiação solar na estação de aquecimento, tal poderá implicar um aumento de equipamentos utilizados para aquecimento do espaço e consequentemente um aumento do consumo energético. Já na estação de arrefecimento, estas obstruções poderão ser um benefício, uma vez que evitam o sobreaquecimento do espaço [4]. Tendo esta questão em conta, é possível corrigir os ganhos solares com a utilização de dispositivos de sombreamento, de forma a garantir as necessidades energéticas do edifício [4].

Para o cálculo das necessidades de energia existem métodos simplificados, que se baseiam num balanço entre ganhos e perdas. Para o cálculo dos ganhos solares é necessário estimar a influência dos elementos circundantes.

O cálculo do sombreamento numa superfície é uma técnica com aplicações variadas, desde projetos de construção às tecnologias solares [5]. O sombreamento em edifícios pode ser causado por obstruções no horizonte (edifícios circundantes, vegetação, orografia) ou por elementos horizontais e verticais constituintes do próprio edifício[6].

O fator de sombreamento ( $F_s$ ) é a razão entre a radiação solar global recebida numa superfície na presença de obstáculos de sombreamento e na ausência dos mesmos [5]. Para a aferição, de forma direta ou indireta, deste fator, existem diferentes métodos. No entanto, a legislação portuguesa<sup>1</sup> apenas prevê três possíveis abordagens: a) a utilização de regras de simplificação após uma avaliação efetuada ao local; b) um método de cálculo bastante rigoroso no qual são calculados todos os ângulos de obstrução; c) descrição 3D do edifício através de simulação dinâmica.

No sentido de se encontrar uma alternativa a c) que contenha o rigor de b) e a simplificação de a), a prossecução do estudo do método *fisheye* afigura-se deveras importante, uma vez que poderá colmatar as lacunas inerentes à utilização de cada uma das abordagens referidas.

Com o desenvolvimento desta dissertação pretende-se aprofundar algumas das questões levantadas, referentes ao método *fisheye*, pela dissertação já desenvolvida e intitulada “Determinação de fatores de sombreamento com recurso a modelos 3D” [4] e, posteriormente, publicada no artigo [3].

---

<sup>1</sup> Em vigor até 2020.

## 1.2. Objetivos

O objetivo da dissertação proposta consiste na avaliação do método fotográfico, que utiliza uma lente *fisheye*, como método simples e preciso. Outro objetivo a determinação mais detalhada dos erros associados a opções de simplificação, nomeadamente:

- Como varia o rigor de cálculo do fator de sombreamento com a qualidade da lente *fisheye*?
- O fator corretivo de sombreamento altera-se quando resulta de uma média do cálculo em vários pontos, face ao pressuposto, de assumir como ponto de análise, o ponto médio?
- Quais as principais diferenças quando comparamos o método *fisheye* com os métodos presentes na legislação, nas diferentes orientações?
- Qual a influência da refletividade das superfícies circundantes na radiação global que incide no plano da fachada e, de que forma, isso altera o fator de sombreamento?

## 1.3. Estrutura da dissertação

De forma a conseguir dar uma resposta estruturada às questões mencionadas na secção anterior, esta dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

O presente capítulo apresenta o enquadramento geral do fator de sombreamento na perspetiva energética do setor dos edifícios. É também aqui, que são definidos os objetivos deste trabalho.

No Capítulo 2 é feita uma revisão da literatura relativamente aos diferentes métodos existentes para o cálculo do fator de sombreamento.

No Capítulo 3 é apresentada, de forma detalhada, a metodologia adotada neste estudo. Em cada subcapítulo são descritos todos os cálculos necessários e locais de estudo.

É no Capítulo 4 que são apresentados todos os resultados, aquando a aplicação da metodologia apresentada anteriormente.

E por fim, no Capítulo 5 são anunciadas as conclusões desta dissertação, com o intuito de responder às questões feitas na secção 1.2.

## 2. Estado de arte

Atualmente, existe uma enorme variedade de sistemas que permitem determinar a sombra no local em estudo os quais se dividem em quatro grupos: Métodos de ambiente CAD, Modelo Digital de Elevação (MDE), aparelhos de registo de obstruções no local e metodologias previstas na legislação portuguesa.

### 2.1. Métodos de ambiente CAD

Baseiam-se na descrição 3D do edifício e no *design* das obstruções. Existem diferentes tipos de métodos para avaliação do sombreamento, ao longo de um período específico de tempo[3].

O SOMBRERO, um dos primeiros modelos, foi desenvolvido especificamente para calcular o sombreamento provocado por diversas obstruções. De modo a permitir este cálculo, os objetos são introduzidos no programa, através das suas coordenadas cartesianas sendo igualmente configurado o horizonte. Partindo destes dados, o programa projeta a sombra de cada obstáculo à radiação solar direta, calculando o coeficiente de sombreamento (razão entre a área sombreada e a área total do objeto em estudo para uma hora específica) [7].

Por outro lado, o TownScope criado por investigadores da Universidade de Liege, é utilizado como apoio na fase de planeamento de projetos urbanos sustentáveis. O programa cria um modelo 3D a partir de dados importados de ambiente CAD. Baseado nestes, analisa simultaneamente a radiação solar e o conforto térmico, calculando posteriormente as radiações direta, difusa e refletida, para todos os pontos da área em questão. Este programa pode gerar imagens *fisheye* (a partir de pontos definidos pelo utilizador) com o intuito de calcular a fração de céu visível [8].

O Solar3DBR desenvolvido como uma extensão do Google SketchUp [4], criado com o objetivo de compreender os efeitos da sombra projetada em módulos fotovoltaicos. Calcula a radiação incidente nas superfícies 3D e os seus fatores de sombreamento (quociente entre a irradiância bloqueada e a irradiância global num plano inclinado num dado instante), com base no modelo da radiação difusa anisotrópica de [9].

### 2.2. Modelos Digitais de Elevação (MDE)

Os referidos calculam o fator de sombreamento causado pela própria elevação da superfície e consistem numa análise do ângulo de obstrução.

Existem dois tipos de MDE, o Modelo Digital do Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Superfície (MDS). O MDT apenas considera a elevação do terreno, sendo necessário adicionar ao mesmo tudo o que possa constituir uma obstrução à radiação solar. O MDS contempla edifícios, árvores e objetos relevantes. Uma vez já inseridos esses parâmetros o modelo de radiação pode ser aplicado diretamente.

No que concerne ao modelo GOSOL, foi desenvolvido a fim de estudar o potencial da energia solar em ambiente urbano. Quantifica as perdas de radiação solar incidente. É necessária a introdução das características do edifício em estudo bem como as fontes de sombreamento (e.g. vegetação e edifícios circundantes). Com o propósito de proceder à simulação, é imprescindível adicionar a estes dados o MDT [10].

O Solar Out of LiDAR (SOL) Permite a análise do potencial solar em ambiente urbano com recurso a um MDS, a partir de um levantamento LiDAR<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Light Detection and Ranging

As leituras são efetuadas por via aérea, tendo por base o período entre a emissão de um feixe laser infravermelho e a determinação do sinal refletido, permitindo calcular a distância entre o emissor e o recetor, dando origem um mapa com a informação adquirida.

Verificaram-se algumas melhorias neste programa de forma a possibilitar o cálculo do fator de sombreamento. Através da utilização da base de dados SOLTERM, adquirem-se os valores das irradiâncias para intervalos horários num período de 30 anos. Os dados obtidos foram adaptados para utilização na metodologia desenvolvida por [11].

Através do cruzamento de um mapa de sombras binário com a informação de radiação direta e a análise e leitura dos dados obtidos anteriormente, é possível alcançar um mapa da radiação global (para cada intervalo de tempo definido é somada a componente direta à componente difusa). Dada esta informação e tendo em conta as obstruções existentes no horizonte ou elementos do edifício com dimensão significativa, existe a possibilidade de aferir o fator de sombreamento.

O Solar Analyst desenvolveu-se como uma extensão do software ArcGIS, permitindo o cálculo de um mapa de irradiação com base num MDS e as coordenadas geográficas do local em estudo[12].

Para calcular a radiação incidente é dividida a cúpula hemisférica de forma equiangular, tendo em consideração, o modelo isotrópico da radiação difusa. Neste contexto, é criada uma imagem panorâmica da cúpula em questão para cada célula do modelo, pesquisando o maior ângulo de obstrução existente (ângulo de horizonte), para cada direção. Estes dados são transformados num sistema de coordenadas hemisféricas. A sobreposição destas coordenadas com o diagrama solar possibilita estimar, temporalmente, o sombreamento do ponto em análise [13]. Referente a este programa, o cálculo do fator de sombreamento só é possível a partir do processamento da imagem criada.

Os aparelhos de registo de obstruções no local tornam-se vantajosos pela portabilidade dos dispositivos e pela capacidade de exportação dos resultados criados para outros programas. O fator de sombreamento é retirado com base numa sobreposição de um diagrama solar com uma imagem panorâmica que contenha o registo das obstruções do horizonte.

O SunEye 210 Shade Tool permite avaliar o potencial de produção fotovoltaica a partir das medições do recurso solar, fazendo o reconhecimento dos obstáculos no horizonte a partir de uma câmara *fisheye*, analisando visual e quantitativamente o nível de obstrução existente numa imagem panorâmica.

Esta ferramenta traça diagramas solares (tendo em conta a latitude e longitude do local) aferindo a exposição solar relativamente a períodos definidos pelo utilizador. Permite a criação de cenários hipotéticos no local sendo possível adicionar ou remover obstáculos e sobrepor diagramas solares.

O Panorama Master é um sistema fixador para câmaras digitais que permite a rotação das mesmas num ângulo de 360° produzindo imagens com um intervalo de 20° entre elas[14].

Fazendo uso do *software* do HorizON e através de uma sequência das mesmas, é criada uma imagem panorâmica. Outra funcionalidade do referido programa é a capacidade de sobrepor um diagrama solar, do local em estudo, a essa imagem. A exportação do *output* para outros programas viabiliza a análise do potencial fotovoltaico. Tendo por base a representação das obstruções da referida imagem, é possível aferir os níveis de sombreamento do local.

### 2.3. Metodologias previstas na legislação portuguesa

Na legislação portuguesa<sup>3</sup> em vigor, estão previstos três métodos para aferição do fator de sombreamento em edifícios. Referente a um deles, o método utilizado é o cálculo baseado nos ângulos de obstrução existentes [6], sendo noutra aplicadas as regras de simplificação [15].

É possível utilizar programas de simulação dinâmica com base CAD. Neste tipo de programas é introduzido de forma tridimensional o local a ser estudado e as obstruções ao seu redor, de modo rigoroso. Programas como o Passive House Planning Package (PHPP), o Sketch Up como interface gráfica do Energy plus são alguns exemplos de aplicação deste tipo de métodos detalhados.

O levantamento das obstruções é um processo pormenorizado, previsto na legislação portuguesa, a fim de calcular o fator de sombreamento em edifícios residenciais. Estabelece três componentes: fator de sombreamento do horizonte para obstruções exteriores ao edifício, fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas, e o fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado. A legislação prevê que o produto das três componentes não deve ser superior a 0,9 (num intervalo de 0 a 1), de forma a contabilizar o sombreamento causado pelo contorno do vão.

As regras de simplificação são a metodologia menos rigorosa. Contempla três classes de sombreamento, com a seguinte designação: fortemente sombreado, sombreamento normal e sem sombreamento. Estas classes são atribuídas de acordo com a orientação do vão e a relevância da obstrução em causa, não existindo diferenciação qualquer que seja a sua origem (obstrução horizontal ou vertical). É o método mais utilizado, nos dias de hoje, para a certificação energética em edifícios existentes, dado que é bastante simples quando comparado com o levantamento das obstruções.

As metodologias referidas apresentam prós e contras, acabando por se complementar. Nem sempre os métodos de ambiente CAD calculam o fator de sombreamento de forma direta, o que, para projetos de larga escala, é uma desvantagem pelo facto de se revelar um processo moroso. Relativamente aos métodos MDS, os mesmos poderão ser uma escolha vantajosa nos casos em que é necessário o cálculo do fator de sombreamento, para diversos pontos da fachada. Sob outro ponto de vista, os métodos de registo de obstruções são igualmente vantajosos, em casos de obtenção do fator de sombreamento em vãos envidraçados. No que respeita aos métodos determinados na legislação portuguesa, ambos têm o mesmo fim (aferição do fator de sombreamento), sendo o primeiro baseado num processo com cálculos, em que são contabilizadas todas as fontes de sombreamento e o segundo num processo menos rigoroso, com simplificações no cálculo.

Neste contexto, o desenvolvimento do método *fish-eye* pretende ser uma resposta à necessidade de um cálculo do fator de sombreamento de uma forma rigorosa, mas de fácil utilização.

---

<sup>3</sup> A legislação falada na presente dissertação refere-se à legislação em vigor até 2020.

### 3. Metodologia

Para a realização desta dissertação foi utilizado um *smartphone* e duas lentes *fisheye*, com características diferentes, para averiguar se existem diferenças significativas nos resultados obtidos, com cada uma delas.

Todas as câmaras têm uma distância focal associada. No entanto, quando adicionamos uma lente à câmara esse parâmetro não se mantém igual. Nesse sentido, na primeira fase desta dissertação irá calcular a nova distância focal, pois esse valor será essencial nas etapas seguintes.

Posteriormente vai ser avaliado o método *fisheye* em janelas de grande dimensão, comparando o cálculo do fator de sombreamento para o ponto central da mesma, com uma média de vários pontos distribuídos pela janela (Figura 3.1). Neste caso, um ponto central poderá não ser a melhor opção uma vez que o método não considera horas de sombreamento parcial.

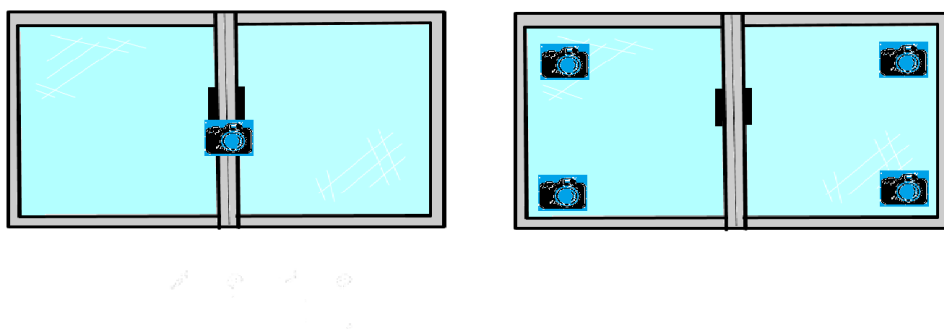


Figura 3.1-Na imagem da esquerda encontramos esquematizado a câmara no centro da janela; na imagem da direita encontramos esquematizado a disposição da câmara nos vários pontos.

Outro dos objetivos será aferir a eficácia deste método num conjunto alargado de janelas com diferentes orientações, com o cálculo das diferenças associadas, quando comparados com os parâmetros obtidos pela Regulamentação.

Este método será também aplicado a janelas que se encontrem junto a superfícies refletoras (e.g plano de água). Nos resultados já obtidos em [4], a radiação refletida foi desprezada.

Com esta dissertação pretende-se obter conclusões sobre a viabilidade do método para fazer auditorias energéticas, para o cálculo do fator de sombreamento de forma precisa, substituindo os métodos previstos na legislação portuguesa.

#### 3.1. Distância focal

Qualquer câmara fotográfica tem uma distância focal já pré-definida. Quando adicionada uma lente a essa câmara, a distância focal irá alterar-se. Para se ter um conhecimento real da verdadeira distância focal é necessário calculá-la. Neste caso a distância focal pode ser calculada a partir de uma fotografia com a lente de um objeto cujas dimensões são conhecidas. É igualmente necessário saber-se a distância real entre a lente e o objeto e as dimensões, em pixéis, do objeto. Com estas características aplicam-se as seguintes equações:



$$f = \frac{dxX_{ref}}{2 \tan^{-1} \left( \frac{x_{ref}}{2Z_{ref}} \right)} \quad (3.1)$$

$$f = \frac{dyY_{ref}}{2 \tan^{-1} \left( \frac{y_{ref}}{2Z_{ref}} \right)} \quad (3.2)$$

Onde  $x_{ref}$  e  $y_{ref}$  são as medidas reais do objeto (em m),  $X_{ref}$  e  $Y_{ref}$  são a dimensão do objeto, em pixels.  $Z_{ref}$  é a distância entre a lente e o objeto.  $dx$  e  $dy$  são coordenadas da câmara, utilizando o comprimento e a altura em pixels.



Figura 3.2-Representação esquemática das dimensões do objeto.

O objeto escolhido para calcular a distância focal é um quadro quadrado, por isso tem-se que  $x_{ref} = y_{ref}$  e  $X_{ref} = Y_{ref}$ . Posto isto o cálculo da distância focal para  $x$  e para  $y$  irá ser igualmente a mesma.

Este parâmetro bem calculado é essencial para o cálculo do fator de sombra. Após a análise das fotografias no programa, o *output* consiste na mesma fotografia alterada projetando o trajeto do sol, de acordo com os parâmetros definidos. Ao inserir a distância focal correta, garantimos que o trajeto do sol projetado é o mais assemelhado possível à realidade.

### 3.2. Lentes *fisheye*

A lente *fisheye* é uma lente que se adiciona à câmara do telemóvel e cria uma imagem panorâmica hemisférica. Este tipo de lente é esférico e convexo (fazendo lembrar o olho de um peixe), que transmite uma noção de grande profundidade de campo. O mercado deste tipo de produto é bastante vasto e pode variar no preço, na qualidade, encaixe e amplitude fotográfica.

A fim de se avaliar a existência de algum tipo de diferença significativa nos resultados, optou-se por escolher duas lentes *fish-eye* (Figura 3.3) para uma comparação. Das características mencionadas acima, a amplitude é a única que poderá interferir significativamente nos resultados.



Figura 3.3-Lentes utilizadas no desenvolvimento da dissertação

A lente grande angular é de maior amplitude e de encaixe mais versátil. A referida lente adapta-se facilmente a qualquer *smartphone*, incluindo os mais recentes que têm cerca de três a quatro lentes fotográficas. A disposição das mesmas pode ser um fator a ter em conta aquando a aquisição da lente *fish-eye*, de forma a obter o melhor resultado. No entanto, a lente *standard* possui um encaixe menos flexível e indicado para telemóveis que têm a lente fotográfica principal, no topo do telemóvel.

Para este estudo, foi escolhida a varanda de uma habitação localizada na Costa de Caparica para uma comparação entre as duas lentes. Foram tiradas cinco fotografias com as duas, uma vez que um dos pontos nesta dissertação é a avaliação de janelas de grande dimensão. As fotografias foram analisadas para o mês de maio, para todas as direções, dado que é também um dos temas a abordar nesta dissertação.

### 3.3. Janelas de grande dimensão

Em [4] o método *fish-eye* foi apenas avaliado em janelas com dimensões *standard*. Nestes casos é retirada apenas uma fotografia no centro de cada janela e o mais junto possível da fachada. Para janelas de grandes dimensões, ou seja, janelas muito altas ou muito largas, isso poderá ser um problema visto que o fator de sombra não considera horas de sombreamento parcial.

De forma a perceber o erro associado ao fator de sombra em janelas de grandes dimensões optou-se por comparar os resultados do método tradicional (fotografia no ponto central da janela) com uma média dos valores obtidos nos quatro cantos das mesmas. Nesse sentido foram escolhidos quatro locais de estudo:

- A varanda de uma habitação na Costa de Caparica, por ser uma janela grande em comprimento e por ter diferentes obstáculos ao seu redor;
- Numa casa no Algarve, também pela sua dimensão em comprimento;
- Na FCUL, mais precisamente junto da entrada do C8;
- E na cozinha de uma habitação na Costa de Caparica.

Foram tiradas cinco fotografias em cada janela, uma central e as restantes em cada canto.

Estas imagens foram avaliadas no programa para o mês de maio em todas as direções dos pontos cardeais, uma vez que as mesmas fotografias serão utilizadas para o ponto 3.4. O intuito é perceber se em alguma das situações a diferença entre o fator de sombra do ponto central e o fator de sombra da média dos cantos, é significativa.

### 3.4. Levantamento angular das obstruções

Utilizando o método *fisheye* foi avaliada a fotografia central de cada caso de estudo mencionado no ponto 3.3 para cada direção e seguidamente comparada com os valores calculados pelos métodos previstos na legislação.

Na legislação em vigor, estão previstos dois métodos para o cálculo do fator de sombreamento: o levantamento das obstruções e as regras de simplificação. No levantamento das obstruções é necessário aferir se existem obstáculos aos ganhos solares. Desta forma, são considerados três tipos de obstáculos diferentes:

- Obstruções no horizonte ( $F_h$ ), que consistem em qualquer obstrução externa à habitação, existente na linha do horizonte (e.g. outros prédios, árvores, entre outros);
- Elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado ( $F_o$ ), obstruções acima da janela (e.g. varandas);
- Elementos verticais adjacentes ao envidraçado ( $F_f$ ), obstruções que se encontram nas laterais do envidraçado (e.g. parede, outro prédio).

No caso da varanda, existem obstruções no horizonte, uma pala horizontal e uma pala vertical à direita. Após a sua identificação é necessário calcular o ângulo feito entre a janela e os mesmos. Da Figura 3.4 à Figura 3.6, apresenta-se a explicação, de forma esquemática como calcular os ângulos necessários para o caso da varanda. Com estes ângulos são obtidos os valores de  $F_h$ ,  $F_o$  e  $F_f$  em [6].

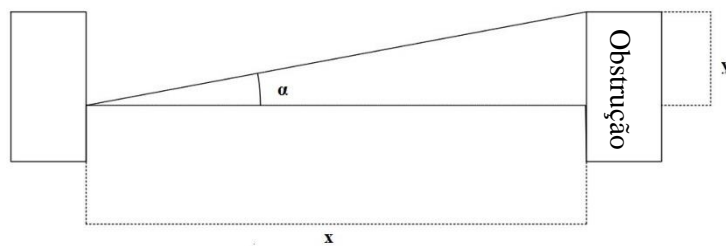


Figura 3.4- Esquemática do cálculo de  $F_h$  para o caso da varanda.

A Figura 3.4 representa esquematicamente como obter o  $F_h$ . Do lado esquerdo, está representado o prédio com a varanda inserida e do lado direito apresenta-se a obstrução horizontal, sendo neste caso o prédio que se encontra em frente.  $X$  é a distância entre os dois prédios e  $Y$  a altura desde do vão da janela ao topo da obstrução. Perante estes valores é possível calcular o ângulo  $\alpha$ , a partir de  $\tan \alpha$ .

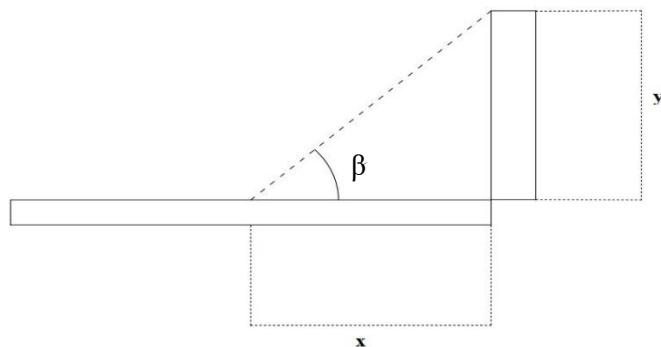


Figura 3.5-Esquematização do cálculo do  $F_f$  para o caso da varanda.

Na Figura 3.5 está representada a vista de cima da varanda para o cálculo do  $F_f$ .  $X$  representa a distância entre o centro da janela e a pala à direita. O  $Y$  representa o tamanho da pala. Com estes valores é possível calcular o ângulo  $\alpha$  a partir de  $\tan \beta$ .

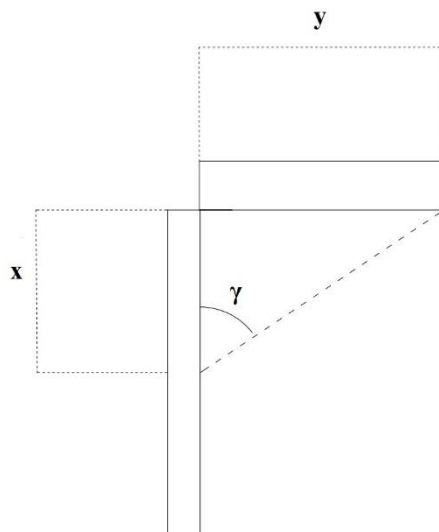


Figura 3.6-Esquematização do cálculo de  $F_o$  para o caso da varanda.

Na Figura 3.6 à semelhança da Figura 3.5 está retratada a vista lateral do caso da varanda. Em  $Y$ , tem-se o tamanho da pala horizontal (neste caso uma outra varanda) e o  $X$  representa a distância entre o ponto central da janela e o teto. Para calcular o  $F_o$  basta fazer  $\tan \gamma$ .

Para o caso da casa do Algarve existem apenas obstruções no horizonte (árvores). Uma vez que a altura das árvores é de difícil estimativa para a obtenção de  $F_h$ , foi assumido um valor conservador de vinte graus por observação das fotografias tiradas no local, uma vez que assumir zero graus seria irrealista.

No caso da FCUL existem obstruções no horizonte e elementos verticais (à esquerda e à direita). Já para o caso da cozinha são consideradas obstruções no horizonte e uma pala à direita.

Após a obtenção dos valores dos ângulos é aplicada a equação (3.3), sendo que segundo o regulamento, o valor  $F_o.F_f$  não pode ser superior a 0,9.

$$F_s = F_h.F_o.F_f \quad (3.3)$$

Nas regras de simplificação é dispensada a obtenção rigorosa dos ângulos formados entre o vão envidraçado e as obstruções e/ou as palas. Neste caso, é tida em conta a orientação e são estimados os ângulos formados com as obstruções. É também estimado o grau de sombreamento que é dividido em três classes: sem sombreamento, sombreamento normal e fortemente sombreado.

### 3.5. Influência da radiação refletida

Em [4] os resultados obtidos relativamente ao fator de sombra apenas tinham em consideração a radiação direta e difusa. O programa de análise das fotografias apenas avaliava os ganhos solares obtidos por radiação direta, não tendo em consideração a radiação refletida. Para a presente dissertação um dos objetivos é avaliar o impacto da radiação refletida e por esse motivo, foi alterado o programa de forma a ter este ponto em consideração. É pedido ao utilizador que delimite a áreas propensas à reflexão e de seguida o utilizador é questionado sobre qual o tipo de superfície existente. Neste caso, é dada uma lista de opções ao utilizador relativamente ao tipo de superfície: neve, calçada clara, azulejo branco e água. Não foram consideradas superfícies de cor média ou escura, pois essas têm um impacto desprezável na fração de radiação refletida. A cada uma destas opções mencionadas, é atribuído um valor relativamente ao albedo:

- Para a neve o valor utilizado foi de 0,85, uma vez que o seu valor varia entre 0,8 e 0,9 [16] é feita uma média destes valores.
- Para a calçada é considerado o valor de 0,5. Uma vez que não existe nenhum valor específico para a calçada, foi assumido o valor mais baixo de azulejo branco e consequentemente para o azulejo branco em si foi utilizado o valor de 0,75 [16].
- No caso da água, o valor do albedo varia consoante o ângulo formado entre a superfície de água e o sol. Dado que o albedo relativamente a este tipo de superfície se torna significativo apenas quando existe uma grande reflexão da luz, o valor atribuído foi de 0,45 (valor máximo equivalente a um ângulo de dez graus) [16].

Assim sendo, no final são tidos em conta estes parâmetros (área e albedo do tipo de superfície) no cálculo final do fator de sombreamento. De modo a perceber qual a importância deste fator no valor final do cálculo, é testado no ponto 4.5, num local junto ao museu MAAT (Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia) e para o caso da cozinha de uma habitação da Costa de Caparica. Nesta situação, a superfície refletora a ser tomada em conta é a água do rio Tejo.

## 4. Resultados

### 4.1. Cálculo da distância focal

Na Tabela 4.1 encontram-se os valores essenciais para o cálculo da distância focal. Para obter os valores de  $X_{ref}$  e  $Y_{ref}$  foi utilizado um programa computacional, onde é aberta a fotografia do objeto a ser analisado (à semelhança da Figura 3.2) e seguidamente é selecionada a aresta do quadro para saber a quantidade de pixéis existentes. Para calcular  $dx$  ou  $dy$  é necessário saber o valor do sensor da câmara relativamente ao telemóvel e saber o número de pixéis presentes na fotografia. Dessa forma:

$$dx = \frac{\text{Sensor de câmara}}{n^{\circ} \text{ de pixeis}} \quad (4.1)$$

Assim sendo temos na Tabela 4.1 os valores obtidos relativamente a cada lente.

*Tabela 4.1-Resumo dos valores obtidos para cada parâmetro.*

	$X_{ref}$ $=Y_{ref}(px)$	$Z_{ref}$ (m)	$x_{ref}(m)$	$y_{ref}(m)$	$dx=dy$ ( $\mu m/mm$ )
Lente grande angular	750	1,21	40,6E-02	40,6E-02	5,96E-07
Lente standard	816	1,41	40,6E-02	40,6E-02	5,96E-07

Aplicando as equações [1] e [2] obtemos os valores da Tabela 4.2.

*Tabela 4.2- Resultados obtidos após a utilização das equações [1] e [2].*

	$f$
Lente grande angular	1,35E-03
Lente standard	1,46E-03

### 4.2. Comparação entre as lentes

Após a obtenção do valor do fator de sombra para cada imagem, é necessário calcular a diferença entre as duas lentes escolhidas para cada um dos cinco locais. Neste caso a diferença foi calculada utilizando a equação [4]:

$$\text{Diferença} = \text{Lente grande angular} - \text{Lente standard} \quad (4.2)$$

Na Figura 4.1 estão representadas as diferenças para cada um dos cinco casos, para cada orientação, e os limites estabelecidos. O valor da diferença pode variar entre zero e um. Assim sendo, assumem-se como significativas, as diferenças superiores a 0,1.

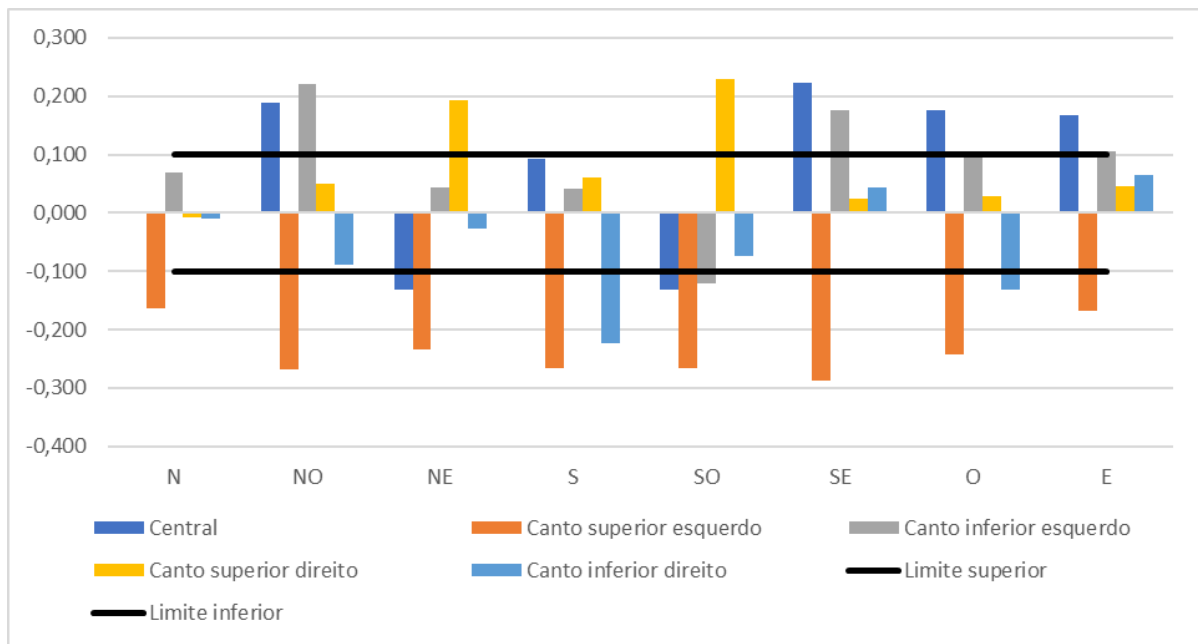


Figura 4.1- Comparação entre a lente grande angular e a lente standard.

Pela análise da Figura 4.1 é de notar, que de uma forma geral existem muitas diferenças significativas, isto é, a diferença entre as duas lentes é notória nos diferentes casos. É para norte (N) que as diferenças são quase inexistentes com a exceção do caso do canto superior esquerdo onde a diferença é notória. Contrariamente, é para Sudoeste (SO) onde as diferenças são mais relevantes com a exceção do canto inferior direito.

Também é de notar que é para o caso do canto superior esquerdo que as diferenças são todas acima do limite. Estes valores podem ser justificados pelo facto de este canto estar mais afastado de uma das obstruções. O facto destes valores serem negativos revela que o valor da lente standard é superior ao valor da lente grande angular, ou seja, a fotografia retirada com a lente grande angular contempla mais obstruções que a lente standard. Tal pode acontecer devido ao facto da lente grande angular ter uma amplitude de imagem maior que a lente standard e por esse motivo consegue registar todas as obstruções algo que não acontece com a lente standard.



Figura 4.2-Comparação das fotografias centrais tiradas pelas lentes: grande angular (esquerda) e standard (direita).

No caso da fotografia central (Figura 4.2) é de notar que grande parte dos valores são superiores aos valores dos limites estabelecidos. É também notável que tanto existem diferenças positivas como negativas e isto pode ser justificado pela análise das diferenças, entre as fotografias tiradas, com ambas as lentes (Figura 4.2). À esquerda temos a fotografia tirada com a lente grande angular e à direita temos a fotografia tirada com a lente standard. O primeiro pormenor é o facto da fotografia da lente standard dar a sensação de maior proximidade aos obstáculos e consequentemente menos visibilidade do céu. Isto vai influenciar o cálculo do valor do fator de sombra, uma vez que a percentagem de obstruções será maior que a percentagem de céu (na lente standard), levando a que este valor seja mais próximo do 0. De seguida, é notável na fotografia à esquerda uma presença de uma pala vertical à direita mais visível (devido à grande amplitude da lente grande angular). Juntando a isto a trajetória do sol, é possível existir a contabilização dessa obstrução no cálculo do fator de sombra da lente grande angular (sendo esse valor mais próximo de zero) quando comparado com o cálculo nas mesmas condições (orientação).

### 4.3. Aplicação do método *fisheye* em janelas de grande dimensão

Após a análise do fator de sombra para cada fotografia, foi feita uma média dos valores dos quatro cantos:

$$m\acute{e}dia\ dos\ cantos = \frac{canto\ sup.\ dir. + canto\ sup.\ esq. + canto\ inf.\ dir. + canto\ inf.\ esq.}{4} \quad (4.3)$$

De seguida, é feita a diferença absoluta entre os valores obtidos para as fotografias centrais e as médias dos cantos:

$$dif.\ absoluta = central - m\acute{e}dia\ dos\ cantos \quad (4.4)$$

Os resultados adquiridos com a equação (4.4) estão representados na Figura 4.3.

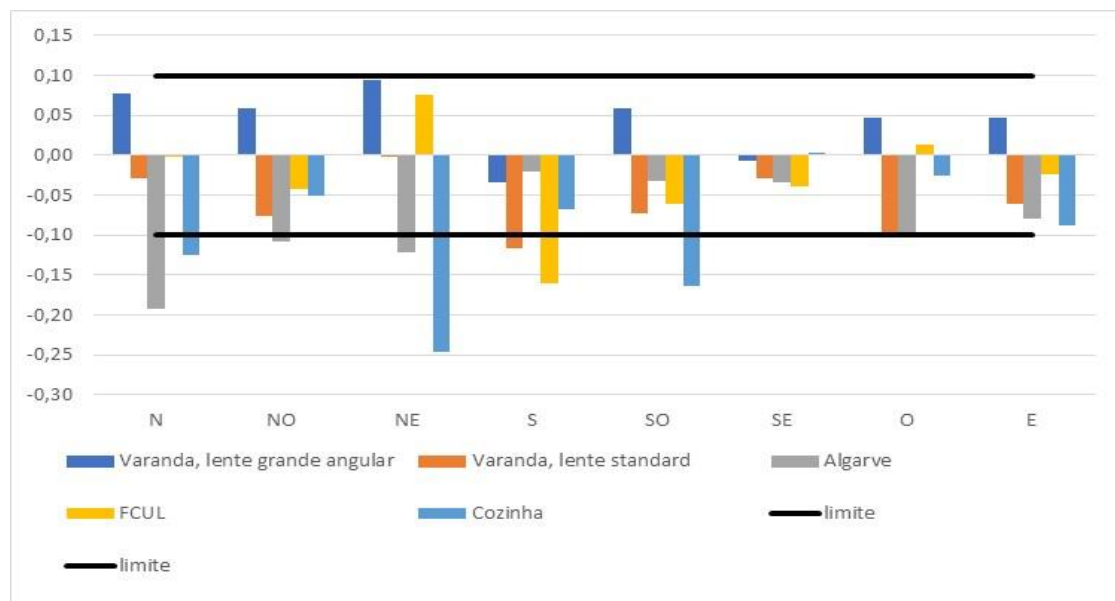


Figura 4.3- Representação gráfica da diferença entre os fatores de sombra de uma fotografia central e a média dos cantos, de uma janela de grande dimensão.



Uma vez que os valores podem variar entre zero e um, o valor 0,1 é definido como sendo limite a partir do qual os resultados se tornam significativos.

De uma forma geral, os valores encontram-se dentro dos limites, no entanto é possível observar que para o caso da cozinha existem 3 valores mais relevantes, nomeadamente para a direção norte (N), nordeste (NE) e Sudoeste (SO). Ainda para a direção N é de notar que o valor da diferença absoluta, para o caso do Algarve, é bastante notório e para a direção sul (S) os valores para o caso da varanda, lente standard e da FCUL são os mais relevantes.

Para o caso da cozinha é possível distinguir que todas as diferenças absolutas são negativas (à exceção do sentido sudeste em que o valor é nulo). O envidraçado em análise é uma janela com pelo menos três metros de comprimento e com obstruções no horizonte (árvores) e uma obstrução à sua direita (prédios adjacentes ao envidraçado). Posto isto, é de notar que a média dos cantos é muito superior ao valor central, para as direções de N, NE e SO. Isto pode indicar que a fotografia no ponto central tem um sombreamento mais forte comparativamente à média dos cantos (nestas direções).

Para o caso da varanda, lente standard e da FCUL, à semelhança do caso da cozinha, é para sul (S) que existe uma maior diferença absoluta. Para a FCUL a maioria das direções os valores são negativos, à exceção dos valores de NE e oeste (O).



*Figura 4.4-Fotografias tiradas com a lente fisheye, em frente à entrada do C8 na FCUL. À esquerda encontra-se a fotografia central e à direita encontra-se o conjunto dos cantos da janela a ser avaliada.*

O facto dos valores para a FCUL serem essencialmente negativos, deve-se ao facto da fotografia central (à esquerda) conter ramos e folhas de uma árvore, o que não acontece na maioria das fotografias dos cantos (à direita). Isto leva a que o valor do fator de sombra seja mais baixo na fotografia central. É também de notar que na aquisição das fotografias, a camera deve estar o mais direita possível, coisa que não acontece com a fotografia do canto superior direito, pois está ligeiramente inclinada para cima. Este tipo de erro é algo que pode acontecer e que deve ser tido em conta nas recomendações ao utilizador.

No caso do Algarve o envidraçado estudado encontra-se num local com apenas obstruções no horizonte. O valor da diferença bastante elevado para N, pode mostrar a influencia do sombreamento parcial para este caso. O facto de um ou mais cantos ter um fator de sombra mais baixo, significa que essas áreas têm bastante sombreamento. Assim sendo, o valor da média do canto será bastante mais baixo comparativamente ao da central, levando a uma diferença positiva.

Em suma, é possível afirmar que dado os resultados bastará uma fotografia central para avaliar janelas com maiores dimensões.

#### 4.4. Diferentes orientações

Para cada caso, é calculado os valores do fator de sombreamento, utilizando o método *fisheye*, o levantamento angular das obstruções e as regras de simplificação para todas as orientações.

No caso do levantamento angular das obstruções é necessário calcular o Fh, Ff e o Fo (já descrito no 3.4). De acordo com [6] para a estação de aquecimento e de arrefecimento, o Fh apenas tem as seguintes opções: 0°; 10°, 20°; 30°; 40° e 45°. E para o Fo e Ff: 0°; 30°; 45° e 60°. Assim sendo, foi necessário escolher o valor mais próximo do resultado, como pode ser consultado na Tabela 4.3:

*Tabela 4.3-Ângulos para cada tipo de obstrução e o seu valor mais próximo, de acordo a legislação.*

		Valores obtidos	Metodologia de cálculo	Diferença absoluta
Varanda	Fh	11,3°	10°	1,3°
	Fo	53,75°	60°	6,25°
	Ff (direita)	43,15°	45°	1,85°
Algarve	Fh	-	10°	-
FCUL	Fh	28,07°	30°	1,93°
	Ff (direita)	66,03°	60°	6,03°
	Ff (esquerda)	66,03°	60°	6,03°
Cozinha	Fh	14,42°	20°	5,58°
	Ff (direita)	30,96°	30°	0,96°

Após a obtenção do valor do fator de sombreamento para cada obstrução é aplicada a equação [3].

Já para as regras de simplificação só existem três categorias (já descritas 3.4). Estas encontram-se resumidas na Tabela 4.4 para a estação de aquecimento e de arrefecimento:

*Tabela 4.4- Valores do fator de sombreamento referentes às regras de simplificação para a estação de aquecimento e de arrefecimento.*

Grau de sombreamento	aquecimento	arrefecimento
Sem sombreamento	0,63	0,63
Sombreamento normal	0,32	0,56
Fortemente sombreado	0,19	0,5

A partir destes valores foi possível obter o fator de sombra para cada caso e posteriormente representado nas seguintes figuras.

#### 4.4.1. Estação de aquecimento

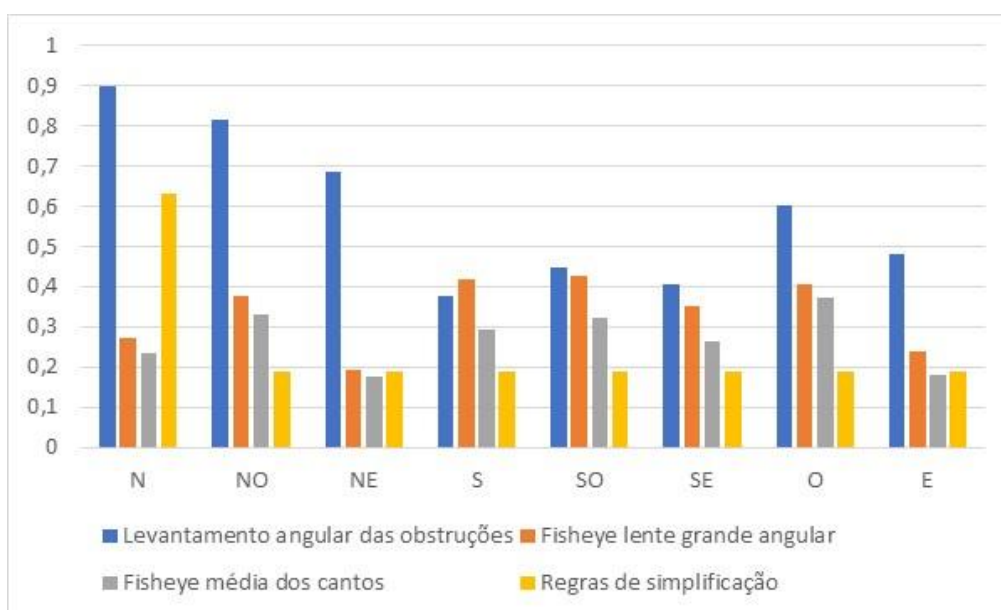


Figura 4.5- Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda utilizando a lente grande angular.

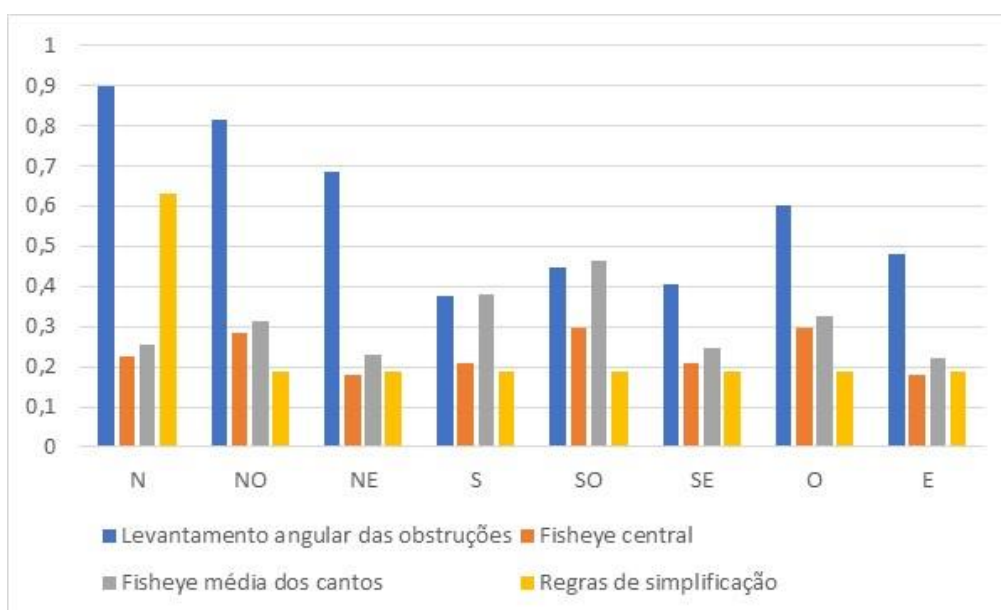


Figura 4.6- Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda utilizando a lente standard.

Na Figura 4.5 e na Figura 4.6 verifica-se que os valores para o levantamento angular das obstruções estão acima dos valores calculados com o método *fisheye* em todas as orientações. À exceção de S em que para a lente grande angular o valor é inferior e para a lente standard o valor iguala o valor da média dos cantos para o método *fisheye*. No entanto, nas regras de simplificação os valores são mais baixos quando comparado com o método *fisheye*, à exceção da direção N. Neste caso, este valor pode ser justificado pelo facto de ser considerado, que para N os ganhos solares são máximos, o que pode não corresponder à realidade.

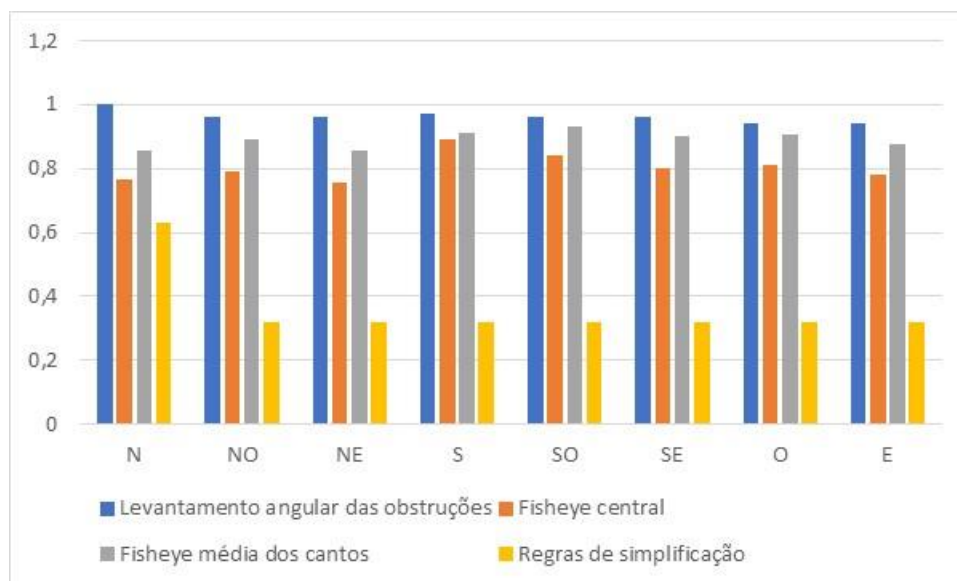


Figura 4.7-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso do Algarve.

Partindo da Figura 4.7, é evidente que o levantamento angular das obstruções é o que apresenta o valor mais elevado. Como esperado, as regras de simplificação apresentam os valores mais baixos, pois não consideram as obstruções reais em redor do vão envidraçado. É de notar que o valor para N, das regras de simplificação, possa ser justificado pelo facto de se considerar que os ganhos solares são máximos, não tendo em conta as reais condições onde o vão envidraçado está inserido. O mesmo acontece para os restantes casos de estudo representado pelas figuras 4.8 e 4.9.

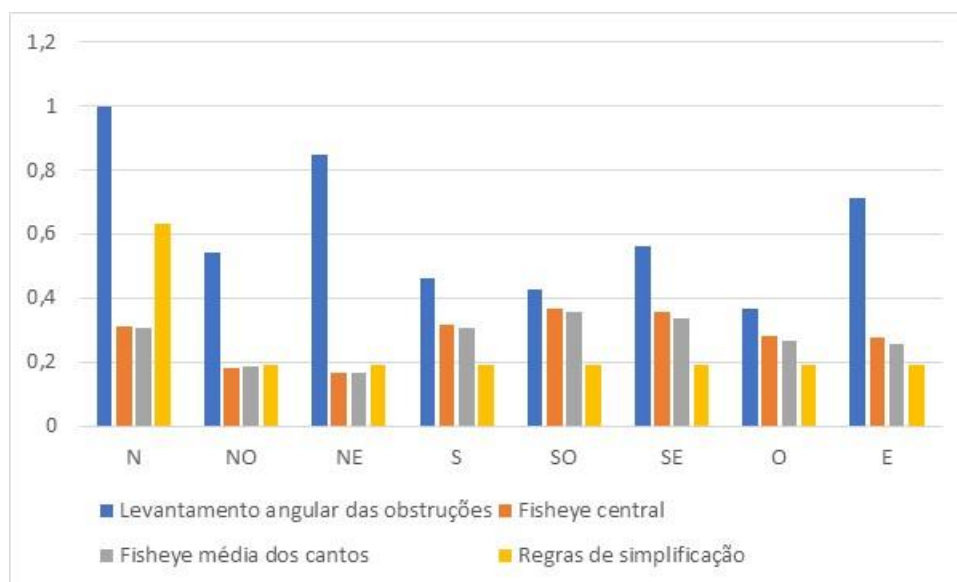


Figura 4.8-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso do FCUL.

Partindo da Figura 4.8 constata-se para as direções N, NE e E, o valor calculado no levantamento angular das obstruções tem uma diferença significativa relativamente aos restantes resultados, nomeadamente os valores calculados a partir do método *fisheye*. Para N é considerado o fator de sombra máximo, já para NE e E o valor das palas verticais (para o ângulo de 60°) é máximo. Sendo que o valor final “assume” o valor das obstruções no horizonte. É necessário ter em conta que para as obstruções no horizonte no caso da FCUL, existe a particularidade de existir uma pala de ligação entre edifícios. No levantamento das obstruções esse caminho não foi tido em consideração, uma vez que o cálculo do ângulo para esse aspeto seria mais difícil. Assim sendo, foi assumido que era um edifício completo. No método *fisheye*, o fator de sombra tem em conta esta pala.

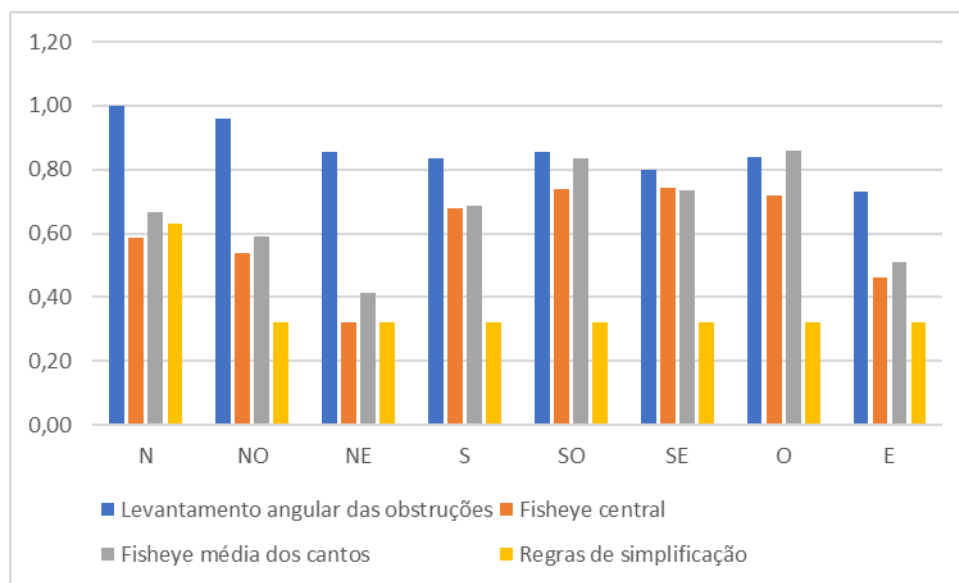


Figura 4.9-Representação gráfica dos valores do fator de somreamento para o levantamento angular das obstruções, método *fisheye* e regras de simplificação, para o caso da cozinha.

Verifica-se que na Figura 4.9 os valores calculados pelo método *fisheye* encontram-se entre os valores obtidos pelo levantamento angular das obstruções e as regras de simplificação, como era esperado. De acordo com a legislação, o levantamento das obstruções é o método mais rigoroso e as regras de simplificação o método menos minucioso, uma vez que não é tido em consideração a avaliação do local em causa para obter o fator de sombra. Como tal é de esperar que os valores obtidos pelo método *fisheye* se encontrem entre os valores calculados pelos métodos já mencionados.

#### 4.4.2. Estação de arrefecimento

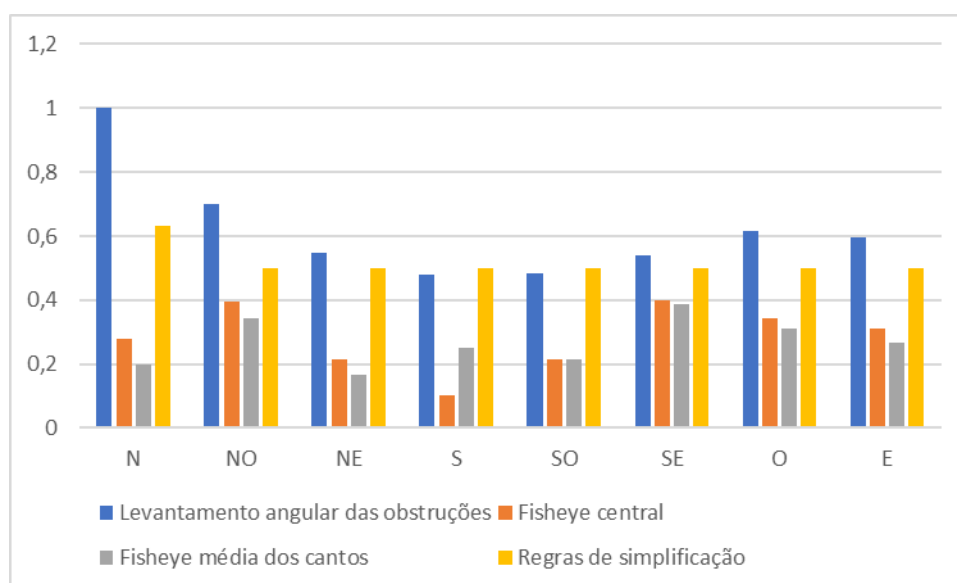


Figura 4.11- Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda com a lente grande angular.

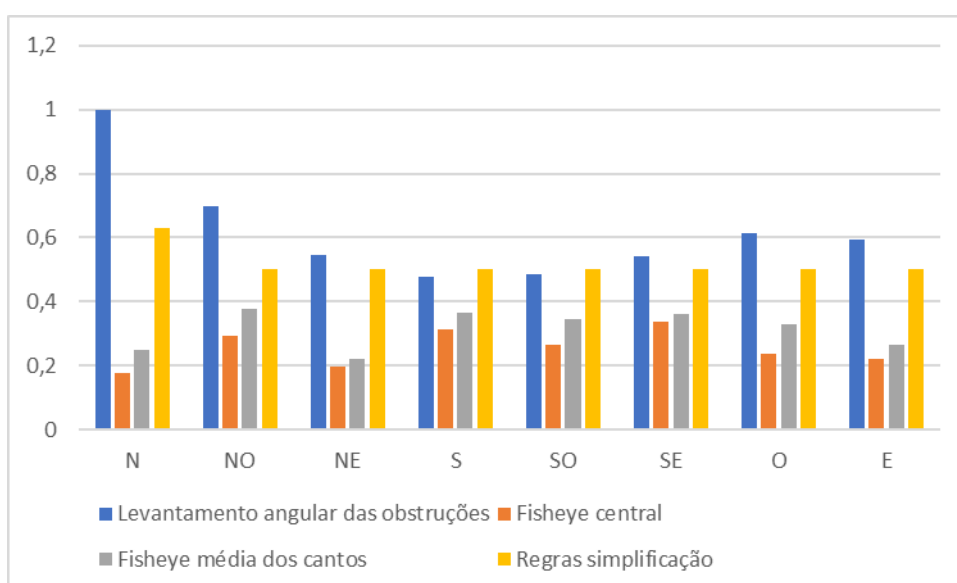


Figura 4.10-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da varanda com a lente standard.

Partindo das figuras 4.9 e 4.10, os valores obtidos pelo método *fisheye* encontram-se no geral, abaixo dos valores calculados a partir dos métodos previstos na legislação. Isto acontece, pelo facto do local em causa ser um local bastante sombreado, o que conduzirá a que as necessidades de arrefecimento estejam sobre estimadas.

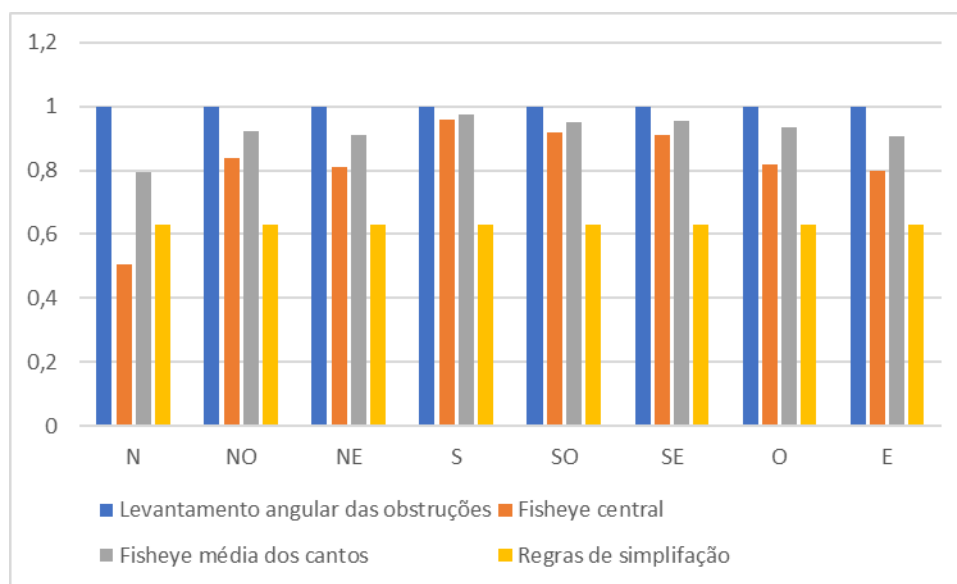


Figura 4.12-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso do algarve.

Para o caso do Algarve, como referido anteriormente, no levantamento angular das obstruções existem obstruções do horizonte. Assim sendo, para a estação de arrefecimento, este tipo de obstruções despreza o efeito de sombreamento do horizonte, tomando assim o valor de um. Para o caso das regras de simplificação, pelas regras de aplicação é considerado “sem sombreamento” em todas as orientações. Por este motivo, os valores para cada um dos métodos previstos na legislação apresenta o mesmo valor em todas as orientações, não representando a realidade, pois ainda que o ângulo entre o vão envidraçado e as obstruções seja muito baixo, existe sempre alguma alteração entre orientações, como é possível verificar pelo método *fisheye*.

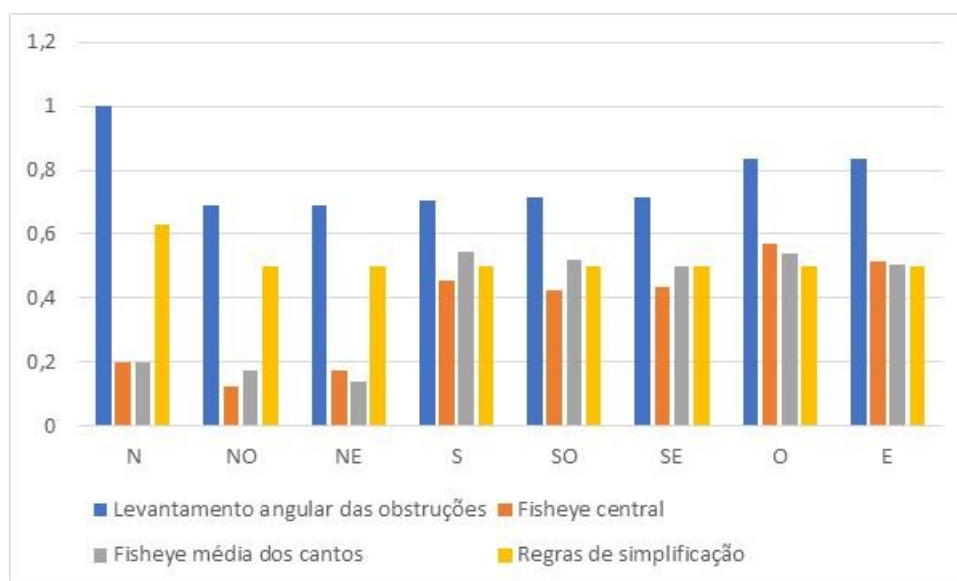


Figura 4.13-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da FCUL.

Nos resultados obtidos na Figura 4.13 é possível notar em dois aspetos. Um deles reside no facto dos resultados relativos ao método *fisheye*, para as direcções N, NO e NE, se encontrarem mais abaixo do que as que se encontram previstas na legislação. Isto deve-se ao facto de os valores previstos na legislação serem sobrestimados para essas direcções.

Outra é relativamente ao facto desses mesmos valores serem iguais ou superiores às regras de simplificação nas restantes direcções.

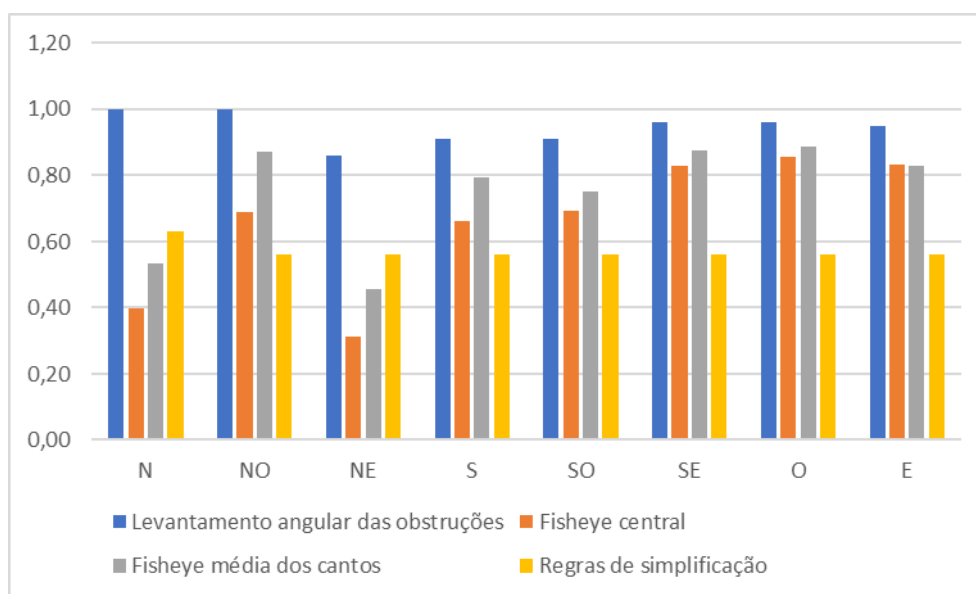


Figura 4.14-Representação gráfica dos valores do fator de sombreamento para o levantamento angular das obstruções, método fisheye e regras de simplificação, para o caso da cozinha.



Através da análise da Figura 4.14 consegue-se constatar que os resultados do método *fisheye* para N e NE têm valor fora do esperado, o que não acontece para as restantes direções. Como já foi constatado anteriormente, a razão pela qual isto acontece, deve-se sobretudo, à sobrestimação dos valores apresentados pela legislação.

Como já referido no ponto 4.3, é notável ao longo de todas as figuras a pequena diferença entre o valor da fotografia tirada num ponto central de uma janela de grande dimensão e o valor da média dos cantos. Neste caso, é possível afirmar-se que não existe qualquer benefício em tirar quatro fotografias uma vez que a diferença é relativamente baixa.

Assim sendo, para a Figura 4.15 e Figura 4.16 foram utilizados os valores obtidos para a fotografia central, no método *fisheye*. As diferenças absolutas obtidas a azul, revelam a diferença entre o levantamento angular das obstruções e o método *fisheye* e a amarelo, a diferença entre as regras de simplificação e o método *fisheye*.

No que se refere à Figura 4.15, as barras a azul, nas direções N, NO, NE e E existe uma disparidade entre os resultados obtidos com valores superiores ou iguais a 0,30. Nas barras a amarelo, nas direções SE, S, SO e O, os valores são superiores ou iguais a 0,20.

Na Figura 4.16, nas direções N, NO, NE, E e O para as barras a azul, apresentam-se valores superiores ou iguais a 0,35. Nas barras a amarelo, para as direções N e NE, os valores são superiores ou iguais a 0,20.

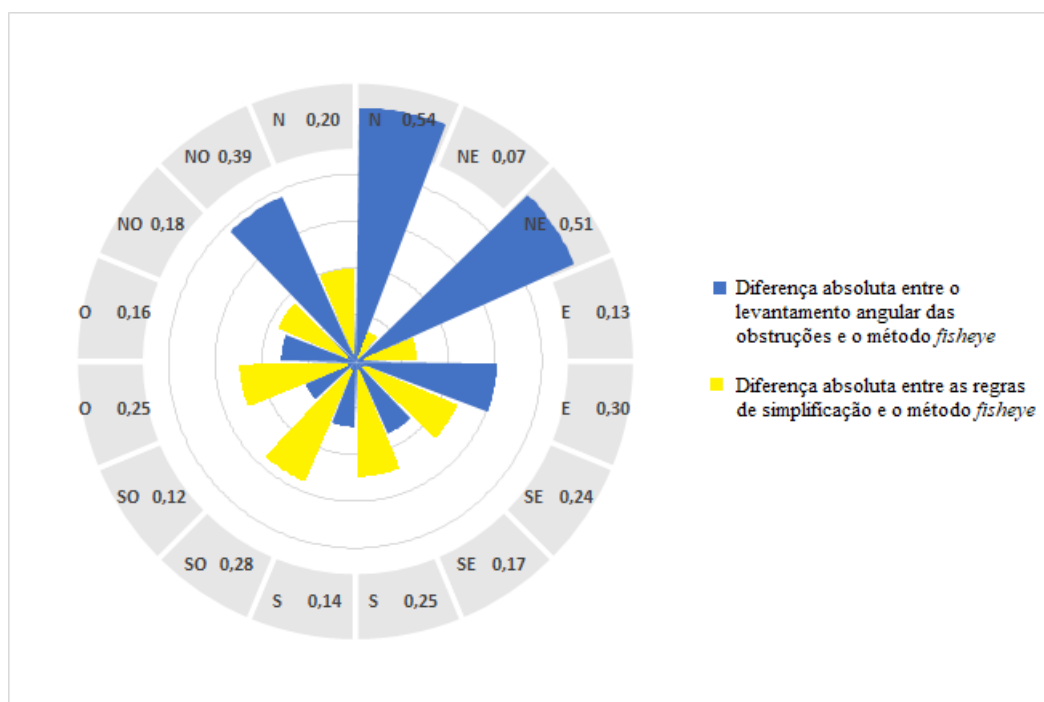


Figura 4.15- Diferença absoluta entre a média dos valores do levantamento angular das obstruções, regras de simplificação e do método *fisheye* central, para a estação de aquecimento.

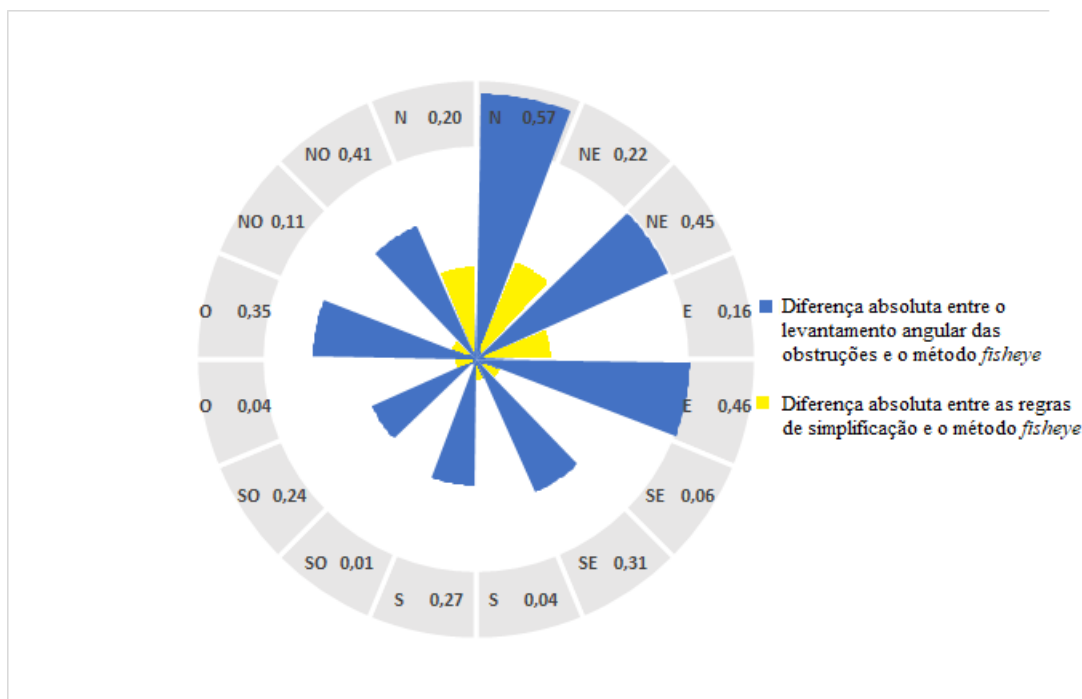


Figura 4.16- Diferença absoluta entre a média dos valores do levantamento angular das obstruções, regras de simplificação e do método *fish-eye* central, para a estação de arrefecimento.

#### 4.5. Reflexão

Com o objetivo de perceber qual a influência da radiação refletida no cálculo do fator de sombreamento, é analisada a mesma, para dois tipos de superfícies refletoras mais comuns em Portugal: a água e a calçada portuguesa.

Para analisar a água como superfície refletora, foi escolhido o troço do rio tejo em frente ao museu MAAT. Para tal, a mesma imagem foi avaliada para quatro casos: sem reflexão, área pequena de reflexão, área média de reflexão e área grande de reflexão.

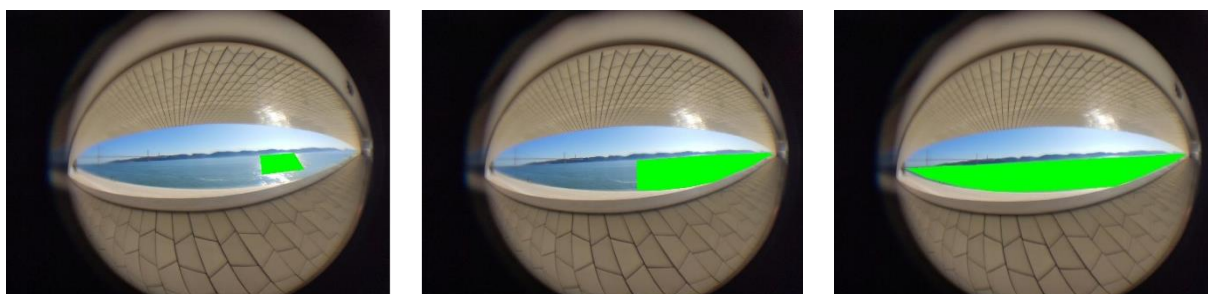


Figura 4.17- Representação das diferentes áreas de reflexão a serem consideradas para o cálculo do fator de sombreamento, num local junto ao MAAT.

Na Figura 4.17 é possível observar, a verde, as diferentes áreas delimitadas para este estudo. Partindo do princípio que existe uma relação diretamente proporcional entre a área e o valor do fator de sombreamento, é necessário aferir que tal acontece. Para tal as três figuras presentes na Figura 4.17 são as áreas selecionadas para essa aferição. A figura mais à esquerda representa a área pequena (esta área poderia ter sido delimitada em qualquer lugar do rio), a figura do meio representa a área média (optou-se por delimitar metade do rio) e por fim, à direita temos a área grande representada pela área total da superfície de água. Os valores do fator de sombreamento calculados, tendo em conta este parâmetro, estão apresentados na Tabela 4.5.

*Tabela 4.5- Resultados após a análise de cada uma das imagens da figura 21.*

	Sem reflexão	Água (peq.)	Água (médio)	Água (grande)
MAAT	0,06	0,07	0,08	0,10

Pela avaliação da Tabela 4.5, é de notar que os resultados obtidos vão de encontro ao que era esperado. É possível notar que à medida que se vai aumentando a área, os valores vão aumentando ligeiramente. No entanto, uma área grande já tem uma diferença significativa do valor que não considera a reflexão.

Para analisar a calçada como superfície refletora, foi utilizada a fotografia central do caso de estudo da cozinha de uma habitação na Costa de Caparica. Tal como para o estudo da água como superfície refletora, a fotografia central da cozinha foi analisada para os mesmos quatro casos.



*Figura 4.18-Representação das diferentes áreas de reflexão a serem consideradas para o cálculo do fator de sombreamento, para o caso da cozinha*

Mais uma vez, para o estudo da influência da reflexão no valor final do fator de sombreamento, é delimitada as áreas (representado a verde) nas diferentes análises. Na Figura 4.18 a área pequena é delimitada numa zona ensolarada, no entanto poderia ter sido noutra local desde que na calçada (imagem mais à esquerda). Nas outras duas imagens estão representadas as áreas média (centro) e grande (à direita). Os valores do fator de sombreamento calculados, tendo em conta este parâmetro, estão apresentados na Tabela 4.6.

*Tabela 4.6-Resultados após a análise de cada uma das imagens da figura 22.*

	Sem reflexão	calçada (peq.)	calçada (médio)	calçada (grande)
Cozinha	0,62	0,62	0,63	0,64

Considerando a Tabela 4.6, é de notar que o valor do fator de sombreamento da área mais pequena é igual ao valor do fator de sombreamento do local, sem qualquer consideração relativamente à reflexão.

Isto deve-se ao facto da área delimitada, ser de tal forma pequena que a sua influência no valor final seja inexistente. Nos restantes casos esse aumento continua a ser muito pequeno. Na aplicação desta metodologia a reflexão pode considerar-se desprezável.

## 5. Conclusões

Existem no mercado variadíssimas lentes *fisheye* aptas para utilizar nos *smartphones*. Para a presente dissertação, foram utilizadas duas lentes bastante distintas entre si. De uma forma geral, é possível concluir que a lente grande angular é a mais precisa, uma vez que apresenta uma grande amplitude e permite capturar todos os obstáculos. Aquando a sua comparação com a lente standard, foram notórias as diferenças entre elas, em especial para o caso do canto superior esquerdo, que foram significativas em todas as direções. As mesmas, devem-se essencialmente, ao facto de uma lente capturar melhor o meio envolvente do que a outra.

No que diz respeito à utilização do método *fisheye* em janelas de grande dimensão, foi imperativo perceber se o sombreamento parcial afetava o cálculo do fator de sombreamento. Ao comparar os valores entre o ponto de análise com a média de quatro pontos, foi possível perceber que no conjunto a diferença era mínima. Assim, para janelas cuja largura é maior do que a padrão, existe a possibilidade de avaliar o fator de sombreamento, posicionando a lente no ponto médio.

Sendo o método em estudo, uma possível substituição às abordagens presentes na legislação, houve a necessidade de perceber, de que modo este método se compara às mesmas. Em casos como o da FCUL, onde existe uma pala de ligação entre edifícios, a legislação não estabelece indicações sobre o modo de procedimento nos referidos casos. Desta forma, o valor do fator de sombreamento poderá estar negligenciado e não corresponder à realidade. Pela razão mencionada, o método *fisheye* poderá ser uma boa alternativa. Relativamente aos restantes casos, foi nas direções N, NO e NE que se verificaram diferenças médias absolutas entre o método levantamento angular e o método *fisheye* superiores a 0,35. Nas estações de arrefecimento essas diferenças alargam-se às orientações O e E. Quando comparado com as regras de simplificação, as diferenças médias absolutas são superiores a 0,20 em S, SO, SE e O na estação de aquecimento e N, NO na estação de arrefecimento.

É importante referir que estas diferenças são relativas aos casos de estudo avaliados, pelo que constitui trabalho futuro comparar os métodos a outras situações.

Estudou-se a refletividade para duas superfícies refletoras distintas: a água e a calçada portuguesa. Observou-se que em ambos os casos, o valor do fator de sombreamento aumentava com a dimensão da área de reflexão. Relativamente ao caso da água, o aumento foi mais significativo do que no caso da calçada. Contudo, as diferenças constatadas eram muito inferiores a 0,1 concluindo-se que é possível desprezar a influência da radiação.

## Referências bibliográficas

- [1] Comissão Europeia, 2015. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en) (accessed Feb. 09, 2020).
- [2] P. Littlefair, “Passive solar urban design : Ensuring the penetration of solar energy into the city,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 2, no. 3, pp. 303–326, 1998, doi: 10.1016/S1364-0321(97)00009-9.
- [3] M. J. N. Oliveira Panão, R. F. C. Carreira, and M. C. Brito, “Determining the shading correction factor using a smartphone camera with a fisheye lens,” *Sol. Energy*, vol. 190, pp. 596–607, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.08.047.
- [4] R. Carreira, “Determinação de fatores de sombreamento com recurso a modelos 3D,” 2017.
- [5] Y. Cascone, V. Corrado, and V. Serra, “Calculation procedure of the shading factor under complex boundary conditions,” *Sol. Energy*, vol. 85, no. 10, pp. 2524–2539, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.07.011.
- [6] M. da E. e do Emprego, “Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013,” *Diário da Repub.*, vol. 2.ª série, no. 58, p. 30, 2013.
- [7] University of Siegen, “SOMBRERO.”
- [8] “TownScope.” <http://www.townscope.com/index.php?page=home&lang=EN&theme=default> (accessed Jan. 05, 2020).
- [9] R. Perez, R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart, and D. Menicucci, “A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces,” *Sol. Energy*, vol. 39, no. 3, pp. 221–231, 1987, doi: 10.1016/S0038-092X(87)80031-2.
- [10] “GOSOL.” <http://www.gosol.de/gosol.htm> (accessed Jan. 05, 2020).
- [11] M. C. B. P. Redweik, C. Catita, “3D Local scale solar radiation model based on urban lidar data,” 2015, [Online]. Available: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59535609/isprsarchives-XXXVIII-4-W19-265-2011.pdf?1559745773=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3D\\_Local\\_Scale\\_Solar\\_Radiation\\_Model\\_Bas.pdf&Expires=1609884091&Signature=gZHi3PgImbVODKQsM3qEXsV-sEn1WAd](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59535609/isprsarchives-XXXVIII-4-W19-265-2011.pdf?1559745773=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3D_Local_Scale_Solar_Radiation_Model_Bas.pdf&Expires=1609884091&Signature=gZHi3PgImbVODKQsM3qEXsV-sEn1WAd).
- [12] ESRI, “ArcGis.” <https://www.arcgis.com/index.html> (accessed Jan. 05, 2020).
- [13] P. M. Rich, “Design and Implementation of the Solar Analyst an arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales,” 2015.
- [14] The Solar Design Company, “Panorama Master,” 2011. .
- [15] M. da E. e do Emprego, “Despacho n.º 15793-E/2013,” *Diário da República*, 2.ª série n.º 234, no. 3 de dezembro de 2013, pp. 14–25, 2013.
- [16] Mat Santamouris, *Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach*. London: Earthscan.

## 6. Anexos

Anexo A- Levantamento fotográfico.

Caso de estudo 1- Varanda



*Figura 6.1-Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito, com a lente grande angular.*



*Figura 6.2-Fotografias originais relativamente aos cantos inferiores esquerdo e direito, com a lente grande angular*





*Figura 6.3-Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito, com a lente standard.*



*Figura 6.4-Fotografias originais relativamente aos cantos inferiores esquerdo e direito, com a lente standard.*



## Caso de estudo 2- Algarve



*Figura 6.5- Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito.*



*Figura 6.6-Fotografias originais relativamente aos superiores inferiores esquerdo e direito.*



*Figura 6.7-Fotografia original central.*

### Caso de estudo 3- Cozinha



*Figura 6.8-Fotografias originais relativamente aos cantos superiores esquerdo e direito.*



*Figura 6.9-Fotografias originais relativamente aos cantos inferiores esquerdo e direito.*



*Figura 6.10-Fotografia original central.*

## Caso de estudo 5- MAAT



*Figura 6.11-Fotografia original utilizada para o estudo da reflexão.*

## Anexo B- Fatores de sombreamento calculados para os diferentes casos de estudo.

*Tabela 6.1-Fatores de sombreamento obtidos a partir do método fisheye para a lente grande angular, lente standard e a diferença entre ambas, para o mês de maio.*

		<b>N</b>	<b>NO</b>	<b>NE</b>	<b>S</b>	<b>SO</b>	<b>SE</b>	<b>O</b>	<b>E</b>
<b>Varanda</b>	Central	0,21	0,47	0,09	0,21	0,14	0,56	0,41	0,38
<b>lente1</b>	Canto superior esq.	0,16	0,17	0,14	0,06	0,11	0,16	0,14	0,19
	Canto inferior esq.	0,28	0,59	0,43	0,30	0,54	0,74	0,49	0,47
	Canto superior direito	0,27	0,41	0,27	0,12	0,31	0,39	0,34	0,34
	Canto inferior direito	0,13	0,18	0,04	0,06	0,18	0,14	0,12	0,12
<b>Varanda</b>	Central	0,28	0,36	0,08	0,06	0,08	0,37	0,31	0,29
<b>lente 2</b>	Canto superior esq.	0,33	0,44	0,38	0,33	0,38	0,45	0,38	0,36
	Canto inferior esq.	0,21	0,37	0,39	0,26	0,66	0,56	0,39	0,37
	Canto superior direito	0,21	0,28	0,23	0,12	0,27	0,34	0,23	0,21
	Canto inferior direito	0,14	0,27	0,06	0,29	0,26	0,10	0,26	0,05
<b>Diferença:</b>	Central	0,00	0,19	-0,13	0,09	-0,13	0,22	0,18	0,17
	Canto superior esq.	-0,16	-0,27	-0,23	-0,27	-0,27	-0,29	-0,24	-0,17
	Canto inferior esq.	0,07	0,22	0,04	0,04	-0,12	0,18	0,10	0,10
	Canto superior direito	-0,01	0,05	0,19	0,06	0,23	0,02	0,03	0,05
	Canto inferior direito	-0,01	-0,09	-0,03	-0,22	-0,07	0,04	-0,13	0,06

Tabela 6.2-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para o mês de maio.

		N	NO	NE	S	SO	SE	O	E
<b>Varanda lente 1</b>	canto superior direito	0,21	0,47	0,09	0,21	0,14	0,56	0,41	0,38
	canto superior esquerdo	0,16	0,17	0,14	0,06	0,11	0,16	0,14	0,19
	canto inferior esquerdo	0,28	0,59	0,43	0,30	0,54	0,74	0,49	0,47
	central	0,27	0,41	0,27	0,12	0,31	0,39	0,34	0,34
	canto inferior direito	0,13	0,18	0,04	0,06	0,18	0,14	0,12	0,12
	med_cantos	0,20	0,35	0,18	0,16	0,25	0,40	0,29	0,29
	dif_abs	0,08	0,06	0,09	-0,03	0,06	-0,01	0,05	0,05
<b>Varanda lente 2</b>	central	0,21	0,28	0,23	0,12	0,27	0,34	0,23	0,21
	canto superior esquerdo	0,33	0,44	0,38	0,33	0,38	0,45	0,38	0,36
	canto inferior esquerdo	0,21	0,37	0,39	0,26	0,66	0,56	0,39	0,37
	canto superior direito	0,28	0,36	0,08	0,06	0,08	0,37	0,31	0,29
	canto inferior direito	0,14	0,27	0,06	0,29	0,26	0,10	0,26	0,05
	med_cantos	0,24	0,36	0,23	0,23	0,34	0,37	0,33	0,27
	dif_abs	-0,03	-0,08	0,00	-0,12	-0,07	-0,03	-0,10	-0,06
<b>Algarve</b>	canto inferior esquerdo	0,58	0,88	0,90	0,95	0,91	0,92	0,85	0,80
	canto inferior direito	0,74	0,85	0,86	0,96	0,93	0,93	0,91	0,88
	central	0,62	0,81	0,81	0,95	0,92	0,92	0,83	0,82
	canto superior direito	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	canto superior esquerdo	0,92	0,97	0,94	0,98	0,98	0,97	0,95	0,92
	Média dos cantos	0,81	0,92	0,93	0,97	0,95	0,95	0,93	0,90
	diferença	-0,19	-0,11	-0,12	-0,02	-0,03	-0,03	-0,10	-0,08

Tabela 6.3-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para o mês de maio (cont.)

	N	NO	NE	S	SO	SE	O	E	
	central	0,17	0,17	0,25	0,49	0,49	0,47	0,60	0,48
	canto inferiro esquerdo	0,18	0,11	0,31	0,69	0,62	0,46	0,59	0,52
FCUL	canto superior esquerdo	0,19	0,13	0,20	0,56	0,60	0,51	0,66	0,38
	canto superior direito	0,14	0,26	0,00	0,73	0,49	0,51	0,50	0,50
	canto inferior direito	0,19	0,37	0,11	0,77	0,56	0,61	0,59	0,63
	med_cantos	0,17	0,21	0,17	0,65	0,55	0,51	0,59	0,50
	dif_abs	0,00	-0,04	0,08	-0,16	-0,06	-0,04	0,01	-0,02
	central	0,40	0,79	0,23	0,65	0,55	0,86	0,83	0,73
	canto inferiro esquerdo	0,53	0,86	0,78	0,67	0,82	0,84	0,84	0,87
Cozinha	canto superior esquerdo	0,58	0,91	0,90	0,85	0,86	0,91	0,92	0,93
	canto superior direito	0,61	0,79	0,23	0,75	0,69	0,85	0,83	0,81
	canto inferior direito	0,50	0,86	0,23	0,67	0,66	0,83	0,86	0,75
	med_cantos	0,53	0,84	0,47	0,72	0,72	0,86	0,86	0,82
	dif_abs	-0,12	-0,05	-0,25	-0,07	-0,16	0,00	-0,03	-0,09



Tabela 6.4-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento.

		N	NO	NE	S	SO	SE	O	E
<b>Varanda lente 1</b>	c.s.direito	0,21	0,47	0,08	0,22	0,18	0,54	0,43	0,31
	c.s.esquerdo	0,19	0,23	0,15	0,06	0,09	0,17	0,14	0,18
	c.i.esquerdo	0,29	0,48	0,42	0,69	0,56	0,71	0,52	0,45
	central	0,28	0,39	0,22	0,10	0,22	0,40	0,34	0,31
	c.i.direito	0,11	0,19	0,03	0,03	0,03	0,13	0,15	0,12
	med_cantos	0,20	0,34	0,17	0,25	0,22	0,39	0,31	0,27
	dif_abs	0,08	0,05	0,05	-0,15	0,00	0,01	0,03	0,05
<b>Varanda lente 2</b>	central	0,18	0,29	0,20	0,31	0,26	0,34	0,24	0,22
	c.s.esquerdo	0,34	0,48	0,36	0,26	0,40	0,47	0,39	0,37
	c.i.esquerdo	0,19	0,37	0,41	0,74	0,60	0,54	0,38	0,39
	c.s.direito	0,36	0,38	0,06	0,19	0,16	0,37	0,33	0,25
	c.i.direito	0,12	0,27	0,04	0,27	0,22	0,07	0,23	0,06
	med_cantos	0,25	0,38	0,22	0,36	0,35	0,36	0,33	0,27
	dif_abs	-0,07	-0,08	-0,02	-0,05	-0,08	-0,03	-0,09	-0,04
<b>Algarve, lentel</b>	c.i.esquerdo	0,60	0,88	0,85	0,95	0,89	0,93	0,88	0,83
	c.i.direito	0,66	0,85	0,86	0,96	0,93	0,92	0,91	0,86
	central	0,51	0,84	0,81	0,96	0,92	0,91	0,82	0,80
	c.s.direito	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	c.s.esquerdo	0,91	0,96	0,94	0,98	0,98	0,97	0,95	0,94
	med_cantos	0,79	0,92	0,91	0,97	0,95	0,96	0,93	0,91
	dif_abs	-0,29	-0,08	-0,10	-0,02	-0,03	-0,05	-0,11	-0,11



Tabela 6.5-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento (cont.).

		N	NO	NE	S	SO	SE	O	E
<b>FCUL</b>	central	0,20	0,12	0,17	0,45	0,43	0,44	0,57	0,52
	c.i.esquerdo	0,20	0,10	0,23	0,55	0,57	0,47	0,49	0,52
	c.s.esquerdo	0,21	0,11	0,16	0,47	0,48	0,45	0,57	0,50
	c.i.direito	0,16	0,19	0,07	0,55	0,48	0,49	0,49	0,44
	c.s.direito	0,22	0,28	0,10	0,61	0,55	0,58	0,61	0,55
	med_cantos	0,20	0,17	0,14	0,55	0,52	0,50	0,54	0,50
	dif_abs	0,00	-0,05	0,03	-0,09	-0,09	-0,06	0,03	0,01
<b>Cozinha</b>	central	0,40	0,69	0,31	0,66	0,69	0,83	0,86	0,83
	c.i.esquerdo	0,44	0,86	0,65	0,87	0,82	0,87	0,88	0,88
	c.s.esquerdo	0,54	0,92	0,72	0,86	0,83	0,93	0,93	0,94
	c.i.direito	0,57	0,85	0,23	0,72	0,69	0,85	0,86	0,74
	c.s.direito	0,57	0,86	0,23	0,71	0,68	0,85	0,87	0,76
	med_cantos	0,53	0,87	0,46	0,79	0,75	0,88	0,89	0,83
	dif_abs	-0,13	-0,18	-0,14	-0,13	-0,06	-0,05	-0,03	0,00

*Tabela 6.6-Fatores de sombra calculados com o levantamento das obstruções para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento.*

	<b>N</b>	<b>NO</b>	<b>NE</b>	<b>S</b>	<b>SO</b>	<b>SE</b>	<b>O</b>	<b>E</b>
Varanda	1	0,70	0,55	0,48	0,48	0,54	0,61	0,60
Algarve	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
FCUL	1	0,69	0,69	0,71	0,72	0,72	0,84	0,84
Cozinha	1,00	1,00	0,86	0,91	0,91	0,96	0,96	0,95

*Tabela 6.7-Fatores de sombra calculados com as regras de simplificação para os diferentes casos de estudo, para a estação de arrefecimento.*

	<b>N</b>	<b>NO</b>	<b>NE</b>	<b>S</b>	<b>SO</b>	<b>SE</b>	<b>O</b>	<b>E</b>
Varanda	0,63	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Algarve	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
FCUL	0,63	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cozinha	0,63	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

Tabela 6.8-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento.

		N	NO	NE	S	SO	SE	O	E
<b>Varanda lente 1</b>	c.s.direito	0,26	0,40	0,16	0,43	0,43	0,28	0,47	0,13
	c.s.esquerdo	0,18	0,27	0,16	0,28	0,15	0,18	0,29	0,17
	c.i.esquerdo	0,38	0,49	0,34	0,46	0,53	0,45	0,52	0,35
	central	0,27	0,38	0,19	0,42	0,43	0,35	0,41	0,24
	c.i.direito	0,11	0,16	0,06	0,00	0,18	0,14	0,20	0,07
	med_cantos	0,23	0,33	0,18	0,29	0,32	0,26	0,37	0,18
	dif_abs	0,04	0,04	0,01	0,13	0,11	0,09	0,03	0,06
<b>Varanda lente 2</b>	central	0,22	0,28	0,18	0,21	0,30	0,21	0,30	0,18
	c.s.esquerdo	0,33	0,44	0,36	0,45	0,47	0,45	0,48	0,37
	c.i.esquerdo	0,30	0,29	0,34	0,39	0,44	0,28	0,28	0,33
	c.s.direito	0,24	0,36	0,14	0,25	0,38	0,20	0,40	0,12
	c.i.direito	0,17	0,17	0,09	0,44	0,57	0,05	0,15	0,07
	med_cantos	0,26	0,31	0,23	0,38	0,46	0,25	0,33	0,22
	dif_abs	-0,03	-0,03	-0,05	-0,17	-0,17	-0,04	-0,03	-0,04
<b>Algarve, lente1</b>	c.i.esquerdo	0,76	0,83	0,69	0,89	0,87	0,82	0,83	0,73
	c.i.direito	0,77	0,82	0,82	0,78	0,90	0,86	0,84	0,84
	central	0,77	0,79	0,75	0,89	0,84	0,80	0,81	0,78
	c.s.direito	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	c.s.esquerdo	0,90	0,93	0,92	0,97	0,96	0,93	0,95	0,93
	med_cantos	0,86	0,89	0,86	0,91	0,93	0,90	0,90	0,87
	dif_abs	-0,09	-0,10	-0,10	-0,02	-0,09	-0,10	-0,09	-0,09

Tabela 6.9-Fatores de sombra calculados com o método fisheye para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento (cont.).

		N	NO	NE	S	SO	SE	O	E
<b>FCUL</b>	central	0,31	0,18	0,17	0,32	0,36	0,36	0,28	0,27
	c.i.esquerdo	0,31	0,19	0,17	0,27	0,34	0,36	0,22	0,30
	c.s.esquerdo	0,33	0,19	0,18	0,33	0,38	0,36	0,26	0,28
	c.i.direito	0,24	0,15	0,13	0,26	0,30	0,25	0,25	0,16
	c.s.direito	0,35	0,21	0,19	0,36	0,40	0,38	0,34	0,27
	med_cantos	0,31	0,19	0,17	0,30	0,35	0,34	0,26	0,25
	dif_abs	0,01	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
<b>Cozinha</b>	central	0,59	0,54	0,32	0,68	0,74	0,74	0,72	0,46
	c.i.esquerdo	0,65	0,08	0,40	0,48	0,83	0,79	0,84	0,57
	c.s.esquerdo	0,73	0,82	0,47	0,83	0,90	0,85	0,91	0,63
	c.i.direito	0,64	0,70	0,41	0,71	0,77	0,64	0,81	0,44
	c.s.direito	0,65	0,76	0,36	0,72	0,85	0,66	0,88	0,41
	med_cantos	0,67	0,59	0,41	0,69	0,84	0,73	0,86	0,51
	dif_abs	-0,08	-0,05	-0,09	-0,01	-0,10	0,01	-0,14	-0,05

Tabela 6.10-Fatores de sombra calculados com o levantamento das obstruções para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento.

<b>Coluna1</b>	<b>N</b>	<b>NO</b>	<b>NE</b>	<b>S</b>	<b>SO</b>	<b>SE</b>	<b>O</b>	<b>E</b>
Varanda	0,9	0,82	0,69	0,38	0,45	0,40	0,60	0,48
Algarve	1	0,96	0,96	0,90	0,88	0,88	0,84	0,84
FCUL	1	0,54	0,85	0,46	0,42	0,56	0,37	0,71
Cozinha	1,00	0,96	0,85	0,84	0,85	0,80	0,84	0,73

Tabela 6.11-Fatores de sombra calculados com as regras de simplificação para os diferentes casos de estudo, para a estação de aquecimento.

<b>Coluna1</b>	<b>N</b>	<b>NO</b>	<b>NE</b>	<b>S</b>	<b>SO</b>	<b>SE</b>	<b>O</b>	<b>E</b>
Varanda	0,63	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Algarve	0,63	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
FCUL	0,63	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Cozinha	0,63	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32